

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 1 7 日
Date of Application:

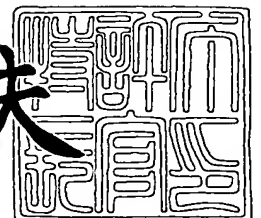
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 4 0 5 0 1
Application Number:
[ST. 10/C]: [J. P 2 0 0 4 - 0 4 0 5 0 1]

出 願 人 シチズン時計株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 3 月 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 CZ04-003
【提出日】 平成16年 2月17日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 33/02
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社
 内
 【氏名】 佐藤 雅浩
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社
 内
 【氏名】 寺嶋 一彦
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社
 内
 【氏名】 佐藤 惇司
【特許出願人】
 【識別番号】 000001960
 【氏名又は名称】 シチズン時計株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100104190
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 酒井 昭徳
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2003- 58068
 【出願日】 平成15年 3月 5日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 041759
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0215023

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

・ 水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、

前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸の方向の地磁気量を検出する x 軸地磁気量検出手段と、

前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出手段と、

前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角を、前記 x 軸を前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させた場合の回転角に決定する決定手段と、

前記 x 軸地磁気量検出手段によって検出された地磁気量と、前記決定手段によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出手段と、

を備えることを特徴とする方位測定装置。

【請求項 2】

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、

前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸に直交する y 軸の方向の地磁気量を検出する y 軸地磁気量検出手段と、

前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向の地磁気量を検出する z 軸地磁気量検出手段と、

前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出手段と、

前記水平面と前記 y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する y 軸傾斜角検出手段と、

前記 x 軸を前記 x 軸傾斜角分の前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記 y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を前記 X 軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出手段によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出手段と、

前記 y 軸地磁気量検出手段および z 軸地磁気量検出手段によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出手段によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出手段と、

を備えることを特徴とする方位測定装置。

【請求項 3】

前記 x 軸に直交する y 軸の方向の地磁気量を検出する y 軸地磁気量検出手段と、

前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向の地磁気量を検出する z 軸地磁気量検出手段と、

前記水平面と前記 y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する y 軸傾斜角検出手段と、

前記 x 軸を前記 x 軸傾斜角分の前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記 y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を前記 X 軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出手段によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出手段と、を備え、

前記方位角算出手段は、

さらに、前記 y 軸地磁気量検出手段および z 軸地磁気量検出手段によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出手段によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の方位測定装置。

【請求項 4】

前記方位角算出手段は、

前記 y 軸地磁気量検出手段および z 軸地磁気量検出手段によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出手段によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角

の正弦値を算出する正弦値算出手段と、

前記 x 軸地磁気量検出手段によって検出された地磁気量と、前記決定手段によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角の余弦値を算出する余弦値算出手段と

、
前記正弦値算出手段によって算出された正弦値と、前記余弦値算出手段によって算出された余弦値とに基づいて、前記方位角の角度範囲を判別する判別手段と、を備え、

前記方位角の正弦値、余弦値、または、前記正弦値および前記余弦値から得られる正接値のうちいずれか一つの値と、前記判別手段によって判別された判別結果と、に基づいて、前記方位角を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の方位測定装置。

【請求項 5】

前記回転角算出手段は、

下記の式 (1) に示す 3 回回転座標式に基づいて、前記回転角を算出することを特徴とする請求項 2 ～ 4 のいずれか一つに記載の方位測定装置。

【数 1】

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

ただし、 α は X 軸回りの回転角、 β は Y 軸回りの回転角となる x 軸傾斜角、 θ は装置本体の方位角となる Z 軸回りの回転角。

【請求項 6】

前記方位角算出手段は、

現在位置における地磁気ベクトルと前記水平面とのなす伏角の入力を受け付ける伏角入力手段を備え、

さらに、前記伏角入力手段によって入力された伏角に基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一つに記載の方位測定装置。

【請求項 7】

前記方位角算出手段は、

現在位置における前記磁北と真北とのなす偏角の入力を受け付ける偏角入力手段を備え

、
さらに、前記偏角入力手段によって入力された偏角に基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一つに記載の方位測定装置。

【請求項 8】

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、

前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸の方向、前記 x 軸に直交する y 軸の方向、または前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出手段と、

前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出手段と、

前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z 軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量の入力を受け付ける合成地磁気量入力手段と、

前記合成地磁気量入力手段によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第 1 軸および第 2 軸地磁気量検出手段によって検出された前記第 1 軸および第 2 軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸および第 2 軸以外の軸方向の地磁気量を算出する地磁気量算出手段と、

前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出手段と、
前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角を、前記 x 軸を前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させた場合の回転角に決定する決定手段と、
前記 x 軸の方向の地磁気量と、前記決定手段によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出手段と、
を備えることを特徴とする方位測定装置。

【請求項 9】

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、

前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸の方向、前記 x 軸に直交する y 軸の方向、または前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出手段と、

前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出手段と、

前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z 軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量の入力を受け付ける合成地磁気量入力手段と、

前記合成地磁気量入力手段によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第 1 軸および第 2 軸地磁気量検出手段によって検出された前記第 1 軸および第 2 軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸および第 2 軸以外の軸方向の地磁気量を算出する地磁気量算出手段と、

前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出手段と、

前記水平面と前記 y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する y 軸傾斜角検出手段と、

前記 x 軸を前記 x 軸傾斜角分の前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記 y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を前記 X 軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出手段によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出手段と、

前記 y 軸の方向の地磁気量と、前記 z 軸の方向の地磁気量と、前記回転角算出手段によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出手段と

、
を備えることを特徴とする方位測定装置。

【請求項 10】

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、

前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸の方向の地磁気量を検出する x 軸地磁気量検出工程と、

前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出工程と、

前記 x 軸傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角を、前記 x 軸を前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させた場合の回転角に決定する決定工程と、

前記 x 軸地磁気量検出工程によって検出された地磁気量と、前記決定工程によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出工程と、

を含んだことを特徴とする方位測定方法。

【請求項 11】

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、

前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸に直交する y 軸の方

向の地磁気量を検出する y 軸地磁気量検出工程と、

前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向の地磁気量を検出する z 軸地磁気量検出工程と、

前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出工程と、

前記水平面と前記 y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する y 軸傾斜角検出工程と、

前記 x 軸を前記 x 軸傾斜角分の前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に追従して前記 y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を前記 X 軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記 x 軸傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出工程によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出工程と、

前記 y 軸地磁気量検出工程および z 軸地磁気量検出工程によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出工程によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出工程と、

を含んだことを特徴とする方位測定方法。

【請求項 12】

前記 x 軸に直交する y 軸の方向の地磁気量を検出する y 軸地磁気量検出工程と、

前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向の地磁気量を検出する z 軸地磁気量検出工程と、

前記水平面と前記 y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する y 軸傾斜角検出工程と、

前記 x 軸を前記 x 軸傾斜角分の前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に追従して前記 y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を前記 X 軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記 x 軸傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出工程によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出工程と、を含み、

前記方位角算出工程は、

さらに、前記 y 軸地磁気量検出工程および z 軸地磁気量検出工程によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出工程によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする請求項 10 に記載の方位測定方法。

【請求項 13】

前記方位角算出工程は、

前記 y 軸地磁気量検出工程および z 軸地磁気量検出工程によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出工程によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角の正弦値を算出する正弦値算出工程と、

前記 x 軸地磁気量検出工程によって検出された地磁気量と、前記決定工程によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角の余弦値を算出する余弦値算出工程と、

前記正弦値算出工程によって算出された正弦値と、前記余弦値算出工程によって算出された余弦値とに基づいて、前記方位角の角度範囲を判別する判別工程と、を含み、

前記方位角の正弦値、余弦値、または、前記正弦値および前記余弦値から得られる正接値のうちいずれか一つの値と、前記判別工程によって判別された判別結果と、に基づいて、前記方位角を算出することを特徴とする請求項 12 に記載の方位測定方法。

【請求項 14】

前記回転角算出工程は、

下記の式 (1) に示す 3 回回転座標式に基づいて、前記回転角を算出することを特徴とする請求項 11 ~ 13 のいずれか一つに記載の方位測定方法。

【数 2】

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

ただし、 α は X 軸回りの回転角、 β は Y 軸回りの回転角となる x 軸傾斜角、 θ は装置本体の方位角となる Z 軸回りの回転角。

【請求項 15】

前記方位角算出工程は、

現在位置における地磁気ベクトルと前記水平面とのなす伏角を入力する伏角入力工程を含み、

さらに、前記伏角入力工程によって入力された伏角に基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする請求項 10～14 のいずれか一つに記載の方位測定方法。

【請求項 16】

前記方位角算出工程は、

現在位置における前記磁北と真北とのなす偏角を入力する偏角入力工程を含み、

さらに、前記偏角入力工程によって入力された偏角に基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする請求項 10～15 のいずれか一つに記載の方位測定方法。

【請求項 17】

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、

前記装置本体が指し示す方向となる x 軸の方向、前記 x 軸に直交する y 軸の方向、または前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の軸方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出工程と、

前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出工程と、

前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z 軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量を入力する合成地磁気量入力工程と、

前記合成地磁気量入力工程によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第 1 軸および第 2 軸地磁気量検出工程によって検出された前記第 1 軸および第 2 軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸および第 2 軸以外の軸方向の地磁気量を算出する地磁気量算出工程と、

前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出工程と、

前記 x 軸傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角を、前記 x 軸を前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させた場合の回転角に決定する決定工程と、

前記 x 軸の方向の地磁気量と、前記決定工程によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出工程と、

を含んだことを特徴とする方位測定方法。

【請求項 18】

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、

前記装置本体が指し示す方向となる x 軸の方向、前記 x 軸に直交する y 軸の方向、または前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の軸方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出工程と、

前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出工程と、

前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z 軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量を入力する合成地磁気量入力工程と、

・ 前記合成地磁気量入力工程によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第 1 軸および第 2 軸地磁気量検出工程によって検出された前記第 1 軸および第 2 軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸および第 2 軸以外の軸方向の地磁気量を算出する地磁気量算出工程と、

前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出工程と、

前記水平面と前記 y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する y 軸傾斜角検出工程と、

前記 x 軸を前記 x 軸傾斜角分の前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記 y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を前記 X 軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記 x 軸傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出工程によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出工程と、

前記 y 軸の方向の地磁気量と、前記 z 軸の方向の地磁気量と、前記回転角算出工程によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出工程と

、
を含んだことを特徴とする方位測定方法。

【請求項 19】

請求項 10～18 のいずれか一つに記載の方位測定方法を、コンピュータに実行させることを特徴とする方位測定プログラム。

【書類名】明細書

【発明の名称】方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラム

【技術分野】

【0001】

この発明は、水平面上の磁北を示すX軸、水平面においてX軸に直交するY軸、および水平面に直交するZ軸からなる3次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

電子方位計と呼ばれる方位測定装置は、複数の磁気センサを用いてそれぞれの地磁気量を検出し、その検出結果から、観察したい方向すなわち観測軸の方位を算出する装置である。この方位測定装置の応用分野としては、携帯電話、PDAまたは腕時計といった携帯情報端末、車両用方位計であるカーナビゲーション装置、航空機の姿勢検出装置、視覚障害者向けの方位測定装置、ゲーム機といったものまで知られている。

【0003】

特に、近年、携帯情報端末向けの位置情報提供サービスが始まっている。このサービスによれば、利用者の携帯情報端末の現在位置情報が分かるため、利用者が、携帯情報端末の表示画面に表示される地図上における利用者の現在位置を認識することができる。さらに、上述のように、携帯情報端末に方位測定装置を組み合わせることにより、利用者が今どの方角を向いているのか、或いはどの方角に向かおうとしているのかを認識することができる。この現在位置情報と方位測定装置に関する情報提供サービスは、今後多くの産業界に新しいビジネスを生み出し、また利用者に有益な情報を与えることができる。これに伴い、各種電子機器に搭載される方位測定装置には、現状より精度の高いものが求められる状況にある。

【0004】

しかし、方位測定装置が水平面から傾斜した場合には正確に方位角を測定できないという問題があった。具体的には、方位測定装置の利用者は、様々な使用方法や持ち方をするのが想定され、方位測定装置に備えられている磁気センサが、水平面に対して傾斜した状態で使用することも十分に考えられる。この場合、磁気センサの出力は、観測軸が同じ方位角を示していても傾斜角によって出力が変化するため、算出される方位角には誤差が発生してしまうという問題があった。

【0005】

また、x軸およびx軸に直交するy軸からなる2軸の磁気センサを用いた場合、x軸およびy軸が水平面上に対してある傾斜角分傾斜している状態で鉛直軸周りに回転させると、2軸の磁気センサの出力は単純なsin波形、cos波形ではあらわすことができず、傾斜角によって伏角などの要素に依存した複雑な波形を示す。したがって、方位角 θ ($\theta = \arctan(y/x)$) は、多くの誤差を含んだ計算式となり、算出される方位角には誤差が発生してしまうという問題があった。

【0006】

この問題点に対して、傾斜に対する補正を自動的におこなうことができる全方位磁気センサが公開されている（例えば、下記特許文献1参照。）。この全方位磁気センサでは、以下の処理手順によって正確な方位を算出できる。図12は、従来技術の処理手順を示すフローチャートである。図12において、まず、磁気センサから3次元磁気ベクトルを検出する（ステップS1201）。つぎに、傾斜センサから装置本体のピッチ角およびロール角を検出する（ステップS1202）。そして、磁気センサからの3次元磁気ベクトルを、傾斜センサから検出されたピッチ角およびロール角に基づいて2回回転座標変換し、水平磁界成分の磁気ベクトルを算出する（ステップS1203）。さらに、水平磁界成分の磁気ベクトルから方位角を算出する（ステップS1204）。

【0007】

この全方位磁気センサでは、より具体的には、回転行列式を利用して地磁気ベクトルを

水平磁界成分に戻すという方法を採用している。この回転行列式は、水平面上の磁北を示す X 軸、水平面において X 軸に直交する Y 軸、および水平面に直交する Z 軸からなる絶対座標系において、装置本体を X 軸回りに回転させる回転行列と、装置本体を Y 軸回りに回転させる回転行列との積を用いている。なお、センサ本体が指し示す方向を x 軸、x 軸に直交する y 軸、x 軸および x y 平面に直交する z 軸からなる座標系を、観測座標系と呼ぶ。この場合の回転軸としては、絶対座標系を用いた場合に相当する。したがって、X 軸回りの回転行列の役割は、y 軸を水平面に移動させることであり、Y 軸回りの回転行列の役割は、x 軸を水平面に移動させることである。

【0008】

また、算出した磁方位に対して偏角値を補正して真方位を算出する方位測定装置が開示されている（例えば、下記特許文献 2 参照。）。地図上の北となる真北と、磁針の示す北となる磁北とは、若干のズレが生じている。日本では、すべての地域が西偏となっているため、磁針は真北から若干西寄りを目指し示す。この方位測定装置によれば、算出された磁方位を、偏角値を用いて補正することにより、真北と磁北との誤差を修正することができる。

【0009】

【特許文献 1】特開 2002-196055 号公報（第 5 頁、数 2）

【特許文献 2】特許第 3008813 号公報（第 10 頁、図 5）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、上述した従来技術においては、装置本体が水平状態から傾斜した場合には方位角の測定誤差が発生し、さらに傾斜角が大きくなるほど誤差も大きくなってしまいうという問題があった。より具体的には、x 軸および y 軸を水平面に変換する処理、すなわち X 軸回りにロール角分逆回りに回転させ、Y 軸回りにピッチ角分逆回りに回転させると、厳密には水平面に変換できないという問題があった。その理由は、x 軸および y 軸と水平面とのなす傾斜角（ピッチ角およびロール角）をそのまま回転行列式に利用できないという点にある。

【0011】

まず、y 軸を水平にするために X 軸回りのロール角分逆回りに回転させると、y 軸は水平面に移動されるが、x 軸も y 軸の移動に追従して移動してしまう。すると、x 軸と水平面とのなす角はピッチ角と一致しなくなってズレが生じるため、Y 軸回りにピッチ角分逆回りに回転をおこなっても、x 軸を水平面に移動させることができないという問題があった。すでに、水平面に移動された y 軸も、X 軸回りの回転により水平面から移動して、ズレてしまうという問題があった。このように、上述した従来技術の構成では、傾斜角の条件によっては地磁気ベクトルが水平面に戻らないため、その分の誤差を含んだ方位角を算出してしまい、精度上問題があった。

【0012】

一方、観測座標系を構成する x 軸、y 軸、z 軸の軸回りに回転させることにより、方位角を算出することも考えられる。しかしながら、x 軸、y 軸、z 軸自体を算出することは、回転行列内の要素が複雑化するため、方位角を算出することが困難であるという問題があった。

【0013】

この発明は、上述した従来技術による問題点を解消するため、簡易かつ高精度な方位測定をおこなうことができる方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上述した課題を解決し、目的を達成するため、請求項 1 の発明にかかる方位測定装置は、水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記

水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸の方向の地磁気量を検出する x 軸地磁気量検出手段と、前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出手段と、前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角を、前記 x 軸を前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させた場合の回転角に決定する決定手段と、前記 x 軸地磁気量検出手段によって検出された地磁気量と、前記決定手段によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出手段と、を備えることを特徴とする。

【0015】

また、請求項 2 の発明にかかる方位測定装置は、水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸に直交する y 軸の方向の地磁気量を検出する y 軸地磁気量検出手段と、前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向の地磁気量を検出する z 軸地磁気量検出手段と、前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出手段と、前記水平面と前記 y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する y 軸傾斜角検出手段と、前記 x 軸を前記 x 軸傾斜角分の前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記 y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を前記 X 軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出手段によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出手段と、前記 y 軸地磁気量検出手段および z 軸地磁気量検出手段によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出手段によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出手段と、を備えることを特徴とする。

【0016】

また、請求項 3 の発明にかかる方位測定装置は、請求項 1 に記載の発明において、前記 x 軸に直交する y 軸の方向の地磁気量を検出する y 軸地磁気量検出手段と、前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向の地磁気量を検出する z 軸地磁気量検出手段と、前記水平面と前記 y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する y 軸傾斜角検出手段と、前記 x 軸を前記 x 軸傾斜角分の前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記 y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を前記 X 軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出手段によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出手段と、を備え、前記方位角算出手段は、さらに、前記 y 軸地磁気量検出手段および z 軸地磁気量検出手段によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出手段によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする。

【0017】

また、請求項 4 の発明にかかる方位測定装置は、請求項 3 に記載の発明において、前記方位角算出手段は、前記 y 軸地磁気量検出手段および z 軸地磁気量検出手段によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出手段によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角の正弦値を算出する正弦値算出手段と、前記 x 軸地磁気量検出手段によって検出された地磁気量と、前記決定手段によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角の余弦値を算出する余弦値算出手段と、前記正弦値算出手段によって算出された正弦値と、前記余弦値算出手段によって算出された余弦値とに基づいて、前記方位角の角度範囲を判別する判別手段と、を備え、前記方位角の正弦値、余弦値、または、前記正弦値および前記余弦値から得られる正接値のうちいずれか一つの値と、前記判別手段によって判別された判別結果と、に基づいて、前記方位角を算出することを特徴とする。

【0018】

また、請求項 5 の発明にかかる方位測定装置は、請求項 2 ～ 4 のいずれか一つに記載の発明において、前記回転角算出手段は、下記の式 (1) に示す 3 回回転座標式に基づいて、前記回転角を算出することを特徴とする。

【0019】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

ただし、 α は X 軸回りの回転角、 β は Y 軸回りの回転角となる x 軸傾斜角、 θ は装置本体の方位角となる Z 軸回りの回転角。

【0020】

また、請求項 6 の発明にかかる方位測定装置は、請求項 1 ～ 5 のいずれか一つに記載の発明において、前記方位角算出手段は、現在位置における地磁気ベクトルと前記水平面とのなす伏角の入力を受け付ける伏角入力手段を備え、さらに、前記伏角入力手段によって入力された伏角に基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする。

【0021】

また、請求項 7 の発明にかかる方位測定装置は、請求項 1 ～ 6 のいずれか一つに記載の発明において、前記方位角算出手段は、現在位置における前記磁北と真北とのなす偏角の入力を受け付ける偏角入力手段を備え、さらに、前記偏角入力手段によって入力された偏角に基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする。

【0022】

また、請求項 8 の発明にかかる方位測定装置は、水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸の方向、前記 x 軸に直交する y 軸の方向、または前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出手段と、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出手段と、前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z 軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量の入力を受け付ける合成地磁気量入力手段と、前記合成地磁気量入力手段によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第 1 軸および第 2 軸地磁気量検出手段によって検出された前記第 1 軸および第 2 軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸および第 2 軸以外の軸方向の地磁気量を算出する地磁気量算出手段と、前記水平面と前記 x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する x 軸傾斜角検出手段と、前記 x 軸傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角を、前記 x 軸を前記 Y 軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させた場合の回転角に決定する決定手段と、前記 x 軸の方向の地磁気量と、前記決定手段によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出手段と、を備えることを特徴とする。

【0023】

また、請求項 9 の発明にかかる方位測定装置は、水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸の方向、前記 x 軸に直交する y 軸の方向、または前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出手段と、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向

の地磁気量を検出する第2軸地磁気量検出手段と、前記X軸、前記Y軸および前記Z軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量の入力を受け付ける合成地磁気量入力手段と、前記合成地磁気量入力手段によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第1軸および第2軸地磁気量検出手段によって検出された前記第1軸および第2軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記x軸、前記y軸および前記z軸の軸方向のうち、前記第1軸および第2軸以外の軸方向の地磁気量を算出する地磁気量算出手段と、前記水平面と前記x軸とのなすx軸傾斜角を検出するx軸傾斜角検出手段と、前記水平面と前記y軸とのなすy軸傾斜角を検出するy軸傾斜角検出手段と、前記x軸を前記x軸傾斜角分の前記Y軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記y軸を回転移動させた場合に、当該y軸を前記X軸回りに回転させることにより前記水平面に回転移動させる回転角を、前記x軸傾斜角検出手段によって検出されたx軸傾斜角および前記y軸傾斜角検出手段によって検出されたy軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出手段と、前記y軸の方向の地磁気量と、前記z軸の方向の地磁気量と、前記回転角算出手段によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出手段と、を備えることを特徴とする。

【0024】

また、請求項10の発明にかかる方位測定方法は、水平面上の磁北を示すX軸、前記水平面において前記X軸に直交するY軸、および前記水平面に直交するZ軸からなる3次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、前記装置本体が指し示す方向をx軸の方向とした場合に、当該x軸の方向の地磁気量を検出するx軸地磁気量検出工程と、前記水平面と前記x軸とのなすx軸傾斜角を検出するx軸傾斜角検出工程と、前記x軸傾斜角検出工程によって検出されたx軸傾斜角を、前記x軸を前記Y軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させた場合の回転角に決定する決定工程と、前記x軸地磁気量検出工程によって検出された地磁気量と、前記決定工程によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出工程と、を含んだことを特徴とする。

【0025】

また、請求項11の発明にかかる方位測定方法は、水平面上の磁北を示すX軸、前記水平面において前記X軸に直交するY軸、および前記水平面に直交するZ軸からなる3次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、前記装置本体が指し示す方向をx軸の方向とした場合に、当該x軸に直交するy軸の方向の地磁気量を検出するy軸地磁気量検出工程と、前記x軸および前記y軸に直交するz軸の方向の地磁気量を検出するz軸地磁気量検出工程と、前記水平面と前記x軸とのなすx軸傾斜角を検出するx軸傾斜角検出工程と、前記水平面と前記y軸とのなすy軸傾斜角を検出するy軸傾斜角検出工程と、前記x軸を前記x軸傾斜角分の前記Y軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記y軸を回転移動させた場合に、当該y軸を前記X軸回りに回転させることにより前記水平面に回転移動させる回転角を、前記x軸傾斜角検出工程によって検出されたx軸傾斜角および前記y軸傾斜角検出工程によって検出されたy軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出工程と、前記y軸地磁気量検出工程およびz軸地磁気量検出工程によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出工程によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出工程と、を含んだことを特徴とする。

【0026】

また、請求項12の発明にかかる方位測定方法は、請求項10に記載の発明において、前記x軸に直交するy軸の方向の地磁気量を検出するy軸地磁気量検出工程と、前記x軸および前記y軸に直交するz軸の方向の地磁気量を検出するz軸地磁気量検出工程と、前記水平面と前記y軸とのなすy軸傾斜角を検出するy軸傾斜角検出工程と、前記x軸を前記x軸傾斜角分の前記Y軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記y軸を回転移動させた場合に、当該y軸を前記X軸回りに回転させることにより前記水平面に回転移動させる回転角を、前記x軸傾斜角検出工程によ

って検出された x 軸傾斜角および前記 y 軸傾斜角検出工程によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出工程と、を含み、前記方位角算出工程は、さらに、前記 y 軸地磁気量検出工程および z 軸地磁気量検出工程によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出工程によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする。

【0027】

また、請求項 13 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 12 に記載の発明において、前記方位角算出工程は、前記 y 軸地磁気量検出工程および z 軸地磁気量検出工程によって検出された各地磁気量と、前記回転角算出工程によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角の正弦値を算出する正弦値算出工程と、前記 x 軸地磁気量検出工程によって検出された地磁気量と、前記決定工程によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角の余弦値を算出する余弦値算出工程と、前記正弦値算出工程によって算出された正弦値と、前記余弦値算出工程によって算出された余弦値とに基づいて、前記方位角の角度範囲を判別する判別工程と、を含み、前記方位角の正弦値、余弦値、または、前記正弦値および前記余弦値から得られる正接値のうちいずれか一つの値と、前記判別工程によって判別された判別結果と、に基づいて、前記方位角を算出することを特徴とする。

【0028】

また、請求項 14 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 11～13 のいずれか一つに記載の発明において、前記回転角算出工程は、下記の式 (1) に示す 3 回転座標式に基づいて、前記回転角を算出することを特徴とする。

【0029】

【数 2】

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

ただし、 α は X 軸回りの回転角、 β は Y 軸回りの回転角となる x 軸傾斜角、 θ は装置本体の方位角となる Z 軸回りの回転角。

【0030】

また、請求項 15 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 10～14 のいずれか一つに記載の発明において、前記方位角算出工程は、現在位置における地磁気ベクトルと前記水平面とのなす伏角を入力する伏角入力工程を含み、さらに、前記伏角入力工程によって入力された伏角に基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする。

【0031】

また、請求項 16 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 10～15 のいずれか一つに記載の発明において、前記方位角算出工程は、現在位置における前記磁北と真北とのなす偏角を入力する偏角入力工程を含み、さらに、前記偏角入力工程によって入力された偏角に基づいて、前記装置本体の方位角を算出することを特徴とする。

【0032】

また、請求項 17 の発明にかかる方位測定方法は、水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において前記 X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、前記装置本体が指し示す方向を x 軸の方向とした場合に、当該 x 軸の方向、前記 x 軸に直交する y 軸の方向、または前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出工程と、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出工程と、前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z

軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量を入力する合成地磁気量入力工程と、前記合成地磁気量入力工程によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第1軸および第2軸地磁気量検出工程によって検出された前記第1軸および第2軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記x軸、前記y軸および前記z軸の軸方向のうち、前記第1軸および第2軸以外の軸方向の地磁気量を算出する地磁気量算出工程と、前記水平面と前記x軸とのなすx軸傾斜角を検出するx軸傾斜角検出工程と、前記x軸傾斜角検出工程によって検出されたx軸傾斜角を、前記x軸を前記Y軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させた場合の回転角に決定する決定工程と、前記x軸の方向の地磁気量と、前記決定工程によって決定された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出工程と、を含んだことを特徴とする。

【0033】

また、請求項18の発明にかかる方位測定方法は、水平面上の磁北を示すX軸、前記水平面において前記X軸に直交するY軸、および前記水平面に直交するZ軸からなる3次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、前記装置本体が指し示す方向となるx軸の方向、前記x軸に直交するy軸の方向、または前記x軸および前記y軸に直交するz軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第1軸」という）の方向の地磁気量を検出する第1軸地磁気量検出工程と、前記x軸、前記y軸および前記z軸の軸方向のうち、前記第1軸以外の軸（以下、「第2軸」という）の方向の地磁気量を検出する第2軸地磁気量検出工程と、前記X軸、前記Y軸および前記Z軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量を入力する合成地磁気量入力工程と、前記合成地磁気量入力工程によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第1軸および第2軸地磁気量検出工程によって検出された前記第1軸および第2軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記x軸、前記y軸および前記z軸の軸方向のうち、前記第1軸および第2軸以外の軸方向の地磁気量を算出する地磁気量算出工程と、前記水平面と前記x軸とのなすx軸傾斜角を検出するx軸傾斜角検出工程と、前記水平面と前記y軸とのなすy軸傾斜角を検出するy軸傾斜角検出工程と、前記x軸を前記x軸傾斜角分の前記Y軸回りの回転によって前記水平面に回転移動させることにより当該回転移動に従って前記y軸を回転移動させた場合に、当該y軸を前記X軸回りに回転させることによって前記水平面に回転移動させる回転角を、前記x軸傾斜角検出工程によって検出されたx軸傾斜角および前記y軸傾斜角検出工程によって検出されたy軸傾斜角に基づいて算出する回転角算出工程と、前記y軸の方向の地磁気量と、前記z軸の方向の地磁気量と、前記回転角算出工程によって算出された回転角とに基づいて、前記装置本体の方位角を算出する方位角算出工程と、を含んだことを特徴とする。

【0034】

また、請求項19に記載の方位測定プログラムは、請求項10～18のいずれか一つに記載の方位測定方法を、コンピュータに実行させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0035】

本発明にかかる方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムによれば、X軸、Y軸、Z軸の順に回転をおこなう3回回転座標式に基づく簡単な演算式を用いることにより、簡易かつ高精度な方位測定をおこなうことができるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

以下に添付図面を参照して、この発明にかかる方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムの好適な実施の形態を詳細に説明する。また、この実施の形態において、水平面上の磁北を示すX（アルファベット大文字）軸、水平面においてX軸に直交するY（アルファベット大文字）軸、および水平面に直交するZ（アルファベット大文字）軸からなる座標系を絶対座標と呼ぶ。また、装置本体が指し示す方向をx（アルファベット小文字）軸、x軸に直交する軸をy（アルファベット小文字）軸、x軸およびy軸に直交する軸をz（アルファベット小文字）軸と呼ぶ。さらに、x軸はX軸に、y軸はY軸に、

z 軸は Z 軸に対応するものとする。

【0037】

(実施の形態)

(方位測定装置のハードウェア構成)

まず、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置のハードウェア構成について説明する。図1は、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置のハードウェア構成を示すブロック図である。図1において、方位測定装置100は、CPU101と、ROM102と、RAM103と、HDD（ハードディスクドライブ）104と、HD（ハードディスク）105と、ディスプレイ106と、I/F（インターフェース）107と、入力キー108と、A/D変換器109と、x軸磁気センサ110と、y軸磁気センサ111と、z軸磁気センサ112と、GPS（Global Positioning System）レシーバ113と、A/D変換器114と、x軸傾斜センサ115と、y軸傾斜センサ116と、z軸傾斜センサ117と、を備えている。また、各構成部は、バス118によってそれぞれ接続されている。

【0038】

ここで、CPU101は、方位測定装置100の全体の制御を司る。ROM102は、ブートプログラムなどのプログラムを記憶している。RAM103は、CPU101のワークエリアとして使用される。HDD104は、CPU101の制御にしたがってHD105に対するデータのリード/ライトを制御する。HD105は、HDD104の制御で書き込まれたデータを記憶する。

【0039】

ディスプレイ106は、カーソル、アイコンあるいはツールボックスをはじめ、文書、画像、機能情報などのデータを表示する。このディスプレイ106は、たとえば、CRT、TFT液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ等を採用することができる。

【0040】

I/F107は、通信回線を通じてインターネットなどのネットワークに接続され、このネットワークを介して他の装置に接続される。そして、I/F107は、ネットワークと内部のインターフェースを司り、外部装置からのデータの入出力を制御する。I/F107には、たとえばモデムやLANアダプタなどを採用することができる。入力キー108は、文字、数字、各種指示などの入力のためのキーを備え、データの入力をおこなう。また、タッチパネル式の入力パッドやテンキーなどであってもよい。

【0041】

A/D変換器109は、x軸磁気センサ110、y軸磁気センサ111、およびz軸磁気センサ112の検出出力をデジタル信号に変換する。x軸磁気センサ110は、装置本体が方位を指し示す方向となるx軸に配置され、x軸方向の地球の磁気、たとえば、磁束、磁束密度、または磁界を検出する。同様に、y軸磁気センサ111は、x軸に直交するy軸に配置され、y軸方向の磁気を検出する。z軸磁気センサは、x軸およびy軸に直交するz軸に配置され、z軸方向の磁気を検出する。x軸磁気センサ110、y軸磁気センサ111、およびz軸磁気センサ112の検出出力は、電気信号としてA/D変換器109に出力する。

【0042】

GPSレシーバ113は、GPS衛星からの電波を受信し、GPS衛星との幾何学的位置を求めるものであり、地球上どこでも計測可能である。電波としては、1,575.42MHzの搬送波で、C/A（Coarse and Access）コードおよび航法メッセージが乗っているL1電波を用いておこなわれる。C/Aコードはビット率1,023Mbpsで、コードの長さは1023bit=1msである。また、航法メッセージはビット率50bpsで、コードの長さは、サブフレームが300bit=6sであり、メインフレームが1500bit=30sであり、5サブフレームが1メインフレームであり、25メインフレームが1マスターフレームである。すなわち、GPS衛星からの電波を受信してGPS測位データを出力する。

【0043】

A/D変換器114は、x軸傾斜センサ115、y軸傾斜センサ116、およびz軸傾斜センサ117の検出出力をデジタル信号に変換する。x軸傾斜センサ115、y軸傾斜センサ116、およびz軸傾斜センサ117は、各軸の傾斜量を検出するものであり、具体的には、加速度センサによって構成される。2軸および3軸の加速度センサの出力は、他軸感度が少なく、水平面とそれぞれの軸のなす角度を求めることができる。x軸傾斜センサ115は、x軸に配置され、水平面に対するx軸方向の傾斜量を出力する。y軸傾斜センサ116は、y軸に配置され、水平面に対するy軸方向の傾斜量を出力する。z軸傾斜センサ117は、y軸に配置され、z軸方向の傾斜量を出力する。

【0044】

つぎに、図1に示した方位測定装置100が配置されている絶対座標系について説明する。図2は、図1に示した方位測定装置100が配置されている絶対座標系を示す説明図である。図2において、X軸、Y軸およびZ軸によって形成される3次元空間（球体）200は、絶対座標系を構成する。方位測定装置100の装置本体120は原点Oに位置している。装置本体120の長手方向は、上述したx軸となる。このx軸を水平面210に移動させたときの軸とX軸とのなす角が方位角 θ となる。また、水平面210とx軸とのなす傾斜角（x軸傾斜角）はピッチ角 β gと呼ばれ、装置本体120をy軸回りに回転させて水平面210に移動させたときの角度となる。さらに、水平面210とy軸とのなす傾斜角（y軸傾斜角）はロール角 α gと呼ばれ、装置本体120をx軸回りに回転させて水平面210に移動させたときの角度となる。

【0045】

また、ベクトル201は、図1に示したx軸磁気センサ110によって検出されたx軸方向の地磁気ベクトルをあらわしている。同様に、ベクトル202は、図1に示したy軸磁気センサ111によって検出されたy軸方向の地磁気ベクトルをあらわしている。また、ベクトル203は、図1に示したz軸磁気センサ112によって検出されたz軸方向の地磁気ベクトルをあらわしている。各ベクトル201～203の長さは、それぞれ各方向の地磁気量をあらわしている。

【0046】

さらに、ベクトル204は、地磁気ベクトルをあらわしており、ベクトル201～203の合成ベクトルとなる。また、地磁気ベクトルと水平面210とのなす角は装置本体120の現在位置における伏角Iである。したがって、絶対座標系における地磁気ベクトル204の座標は、地磁気ベクトルの大きさ（合成地磁気量F）の出力値をShとすると、 $(X, Y, Z) = (Sh \cdot \cos \theta, 0, Sh \cdot \sin \theta)$ となる。また、ベクトル201～204およびこれらの地磁気量の関係を以下に示す。

【0047】

【数 3】

$$|S_h| = \sqrt{\bar{x}_H^2 + \bar{y}_H^2 + \bar{z}_H^2} \quad \dots (2)$$

$$\bar{x}'_H = \frac{\bar{x}_H}{|S_h|} \quad \dots (3)$$

$$\bar{y}'_H = \frac{\bar{y}_H}{|S_h|} \quad \dots (4)$$

$$\bar{z}'_H = \frac{\bar{z}_H}{|S_h|} \quad \dots (5)$$

$|S_h|$: 合成地磁気量Fに相当する磁気センサの出力値

\bar{x}'_H : x軸磁気センサの出力値を全体の出力値で規格化した値

\bar{x}_H : x軸磁気センサの出力値

\bar{y}'_H : y軸磁気センサの出力値を全体の出力値で規格化した値

\bar{y}_H : y軸磁気センサの出力値

\bar{z}'_H : z軸磁気センサの出力値を全体の出力値で規格化した値

\bar{z}_H : z軸磁気センサの出力値

【0048】

また、上述したピッチ角 β_g (x 軸傾斜角) およびロール角 α_g (y 軸傾斜角) は、図 1 に示した x 軸傾斜センサ 115 および y 軸傾斜センサ 116 によって検出される。また、x 軸傾斜センサ 115、y 軸傾斜センサ 116、および z 軸傾斜センサ 117 から検出されたベクトル (不図示) およびこれらの傾斜量との関係を以下に示す。

【数 4】

$$\alpha_g = \sin^{-1} \frac{\bar{y}_g}{W_g} \quad \dots (6)$$

$$\beta_g = \sin^{-1} \frac{\bar{y}_g}{W_g} \quad \dots (7)$$

$$W_g = \sqrt{\bar{x}_g^2 + \bar{y}_g^2 + \bar{z}_g^2} \quad \dots (8)$$

\bar{x}_g : x軸加速度センサの出力値

\bar{y}_g : y軸加速度センサの出力値

\bar{z}_g : z軸加速度センサの出力値

W_g : 重力加速度に相当する加速度センサの出力合計値

【0049】

(方位測定装置の機能的構成)

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置100の機能的構成について説明する。図3は、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置100の機能的構成を示すブロック図である。図3において、方位測定装置100は、地磁気量検出部301と、傾斜角検出部302と、回転角生成部303と、方位角算出部304と、から構成されている。

【0050】

地磁気量検出部301は、x軸方向地磁気量検出部311と、y軸方向地磁気量検出部312と、z軸方向地磁気量検出部313と、合成地磁気量入力部314と、地磁気量算出部315と、から構成されている。x軸方向地磁気量検出部311は、x軸方向の地磁気量を検出する。具体的には、図1に示したx軸磁気センサ110からの出力からx軸方向の地磁気量を検出し、合成地磁気量Fの出力値Shによって規格化する。

【0051】

また、y軸方向地磁気量検出部312は、y軸方向の地磁気量を検出する。具体的には、図1に示したy軸磁気センサ111からの出力からy軸方向の地磁気量を検出し、合成地磁気量Shによって規格化する。さらに、z軸方向地磁気量検出部313は、z軸方向の地磁気量を検出する。具体的には、図1に示したz軸磁気センサ112からの出力からz軸方向の地磁気量を検出し、合成地磁気量Fの出力値Shによって規格化する。

【0052】

合成地磁気量入力部314は、装置本体120の現在位置における合成地磁気量を入力する。具体的には、図1に示したGPSレシーバ113から得られた装置本体120の現在位置情報を、図示しないサーバに送信する。当該サーバでは、受信した現在位置情報から、装置本体120の現在位置を示す緯度および経度を割り出し、その緯度および経度に対応する合成地磁気量Fの値Shを方位測定装置100に送信する。方位測定装置100は、この合成地磁気量Fの値Shを受信する。

【0053】

地磁気量算出部315は、合成地磁気量入力部314によって入力された現在位置における合成地磁気量と、x軸方向地磁気量検出部311、y軸方向地磁気量検出部312、またはz軸方向地磁気量検出部313の中から選ばれた2つの軸（第1軸および第2軸）方向の地磁気量検出部301と、に基づいて、第1軸および第2軸以外の軸（第3軸）の軸方向の地磁気量を算出する。具体的には、たとえば、方位測定装置100が、x軸磁気センサ110とy軸磁気センサ111を備え、z軸磁気センサ112を備えていない場合、上述した式(2)を用いて、z軸方向の地磁気量を算出する。

【0054】

傾斜角検出部302は、x軸傾斜角検出部321と、y軸傾斜角検出部322と、から構成されている。x軸傾斜角検出部321は、x軸傾斜センサ115から出力された出力から、ピッチ角 β_g となる水平面210とx軸とのなすx軸傾斜角を検出する。また、y軸傾斜角検出部322は、y軸傾斜センサ116の出力から、水平面210とy軸とのなすy軸傾斜角を検出する。

【0055】

回転角生成部303は、回転角決定部331と、回転角算出部332と、を備える。回転角決定部331は、x軸傾斜角検出部321によって検出されたx軸傾斜角（ピッチ角 β_g ）を、x軸をY軸回りの回転によって水平面210に回転移動させた場合の回転角（以下、「Y軸回転角 β 」という。）に決定する。すなわち、後述するX軸回転角 α の算出原理において、観測軸となるx軸から回転移動をおこなうため、他の軸の回転移動による誤差が含まれず、x軸傾斜角は、Y軸回転角 β と同一角度となる（後述する式(13)を参照。）。

【0056】

また、回転角算出部332は、x軸をx軸傾斜角（ピッチ角 β_g ）分のY軸回りの回転

によって水平面 210 に回転移動させることにより当該回転移動に追従して y 軸を回転移動させた場合に、当該 y 軸を X 軸回りに回転させることによって水平面 210 に回転移動させる回転角（以下、「X 軸回転角 α 」という）を、x 軸傾斜角検出部 321 によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角検出部 322 によって検出された y 軸傾斜角に基づいて算出する。この X 軸回転角の算出原理については後述する。

【0057】

つぎに、方位角算出部 304 について説明する。方位角算出部 304 は、伏角入力部 341 と、余弦値算出部 342 と、正弦値算出部 343 と、判別部 344 と、偏角入力部 345 と、方位角算出処理部 346 と、から構成されている。伏角入力部 341 は、装置本体 120 の現在位置における地磁気ベクトルと前記水平面 210 とのなす伏角を入力する。具体的には、図 1 に示した GPS レシーバ 113 から得られた装置本体 120 の現在位置情報を、図示しないサーバに送信する。当該サーバでは、受信した現在位置情報から、装置本体 120 の現在位置を示す緯度および経度を割り出し、その緯度および経度に対応する伏角データを方位測定装置 100 に送信する。方位測定装置 100 は、この伏角データを受信する。

【0058】

余弦値算出部 342 は、x 軸地磁気量検出部 301 によって検出された地磁気量と、回転角決定部 331 によって決定された Y 軸回転角 β とに基づいて、装置本体 120 の方位角の余弦値を算出する。また、正弦値算出部 343 は、y 軸地磁気量検出部 301 および z 軸方向地磁気量検出部 313 によって検出された各地磁気量と、回転角生成部 303 によって生成された X 軸回転角とに基づいて、装置本体 120 の方位角 θ の正弦値 $\sin \theta$ を算出する。余弦値算出部 342 および正弦値算出部 343 の具体的内容は後述する。

【0059】

判別部 344 は、正弦値算出部 343 によって算出された正弦値と、余弦値算出部 342 によって算出された余弦値とに基づいて、方位角の角度範囲を判別する。具体的には、たとえば、余弦値 $\cos \theta$ および正弦値 $\sin \theta$ がともに正である場合、方位角 θ は $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$ の角度範囲であると判別される。また、余弦値 $\cos \theta$ が負であり、正弦値 $\sin \theta$ が正である場合、方位角 θ は $90^\circ \leq \theta < 180^\circ$ の角度範囲であると判別される。さらに、余弦値 $\cos \theta$ および正弦値 $\sin \theta$ がともに負である場合、方位角 θ は $180^\circ \leq \theta < 270^\circ$ の角度範囲であると判別される。また、余弦値 $\cos \theta$ が正であり、かつ正弦値 $\sin \theta$ が負である場合、方位角 θ は $270^\circ \leq \theta < 360^\circ$ の角度範囲であると判別される。

【0060】

偏角入力部 345 は、現在位置における磁北と真北とのなす偏角を入力する。具体的には、図 1 に示した GPS レシーバ 113 から得られた装置本体 120 の現在位置情報を、図示しないサーバに送信する。当該サーバでは、受信した現在位置情報から、装置本体 120 の現在位置を示す緯度および経度を割り出し、その緯度および経度に対応する偏角データを方位測定装置 100 に送信する。方位測定装置 100 は、この偏角データを受信する。

【0061】

方位角算出処理部 346 は、装置本体 120 の方位角を算出する。具体的には、余弦値算出部 342 によって方位角 θ の余弦値 $\cos \theta$ を算出した場合は、余弦値 $\cos \theta$ の逆関数によって方位角 θ を算出する。また、正弦値算出部 343 によって方位角 θ の正弦値 $\sin \theta$ を算出した場合は、正弦値の逆関数によって方位角 θ を算出する。また、方位角 θ の正接 $\tan \theta$ の逆関数によって方位角 θ を算出することもできる。さらに、判別部 344 によって角度範囲が判別された場合、この判別された角度範囲と、方位角 θ の正弦値 $\sin \theta$ の逆関数、余弦値 $\cos \theta$ の逆関数、または正接 $\tan \theta$ の逆関数のうちいずれかの逆関数とによって、方位角 θ を算出することもできる。また、算出された方位角 θ を、偏角部入力部 345 によって入力された偏角 D を用いて補正することにより、真北を基準とした方位角 θ' を算出することもできる。

【0062】

なお、上述した地磁気量検出部301、傾斜角検出部302、回転角生成部303および方位角算出部304は、具体的には、たとえば、図1に示したROM102、RAM103、HD105などに記録されたプログラムをCPU101が実行することによって、その機能を実現する。

【0063】

(X軸回転角 α の算出原理)

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置100のX軸回転角 α の算出原理について説明する。図4は、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置100のX軸回転角 α の算出原理を示す説明図である。なお、図4中、図2に示した内容と同一符号については、その説明を省略する。

【0064】

図4において、X軸、Y軸およびZ軸にそれぞれ単位方位ベクトル401～403が配置されている。この単位方位ベクトル401～403をそれぞれ、下記に示す3回回転座標式を用いて、x軸、y軸およびz軸に回転移動させる。

【0065】

【数5】

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

ただし、 α はX軸回りの回転角、 β はY軸回りの回転角となるx軸傾斜角 β 、 θ は装置本体120の方位角となるZ軸回りの回転角である。

【0066】

この式(1)に示した3回回転座標式について説明する。なお、ここでは一例として、式(1)は、X軸、Y軸およびZ軸の回転を反時計回りの回転とした例を示したものである。このX軸回転角 α の算出原理では、回転した各軸(観測座標系のx軸、y軸、z軸)の方位ベクトルを単位ベクトルとして扱い、観測座標軸(x軸、y軸、およびz軸)の各成分を絶対座標系(X軸、Y軸およびZ軸)を用いて表現することが基本となる。この式が意味する重要な点は、Z軸回りの回転角と観測軸(x軸)の方位角 θ が同一のものとして表現できるという点である。そのため、図4に示した絶対座標系の球体面上の点を、X軸回りの回転 α 、Y軸回りの回転 β 、Z軸周りの回転 θ という3つの回転行列式の積であらわし、観測軸(x軸)をX軸に対応させることにより、式(1)の3回回転座標式中の θ を観測軸の方位角に対応させる。

【0067】

すなわち、観測したい軸(x軸)を最初に回転させることと、最後に鉛直軸回りに回転させることが必要であり、上記の順序で回転させた空間座標の点を用いることで、 α と β に依存することなく、回転角の角度 θ と観測軸の方位角が同一のものとして表現できる。このように、3回回転座標式は、上記の思想から導き出され、高精度に方位角 θ を導き出すための基本関係式となる。アルゴリズムも簡素であり、プログラムが複雑化しない点も大きな優位点である。以下、3回回転座標式について詳細に説明する。

【0068】

3回回転座標式では、単位方位ベクトル401～403を3回回転させる。ここでは、単位方位ベクトル401および402について説明する。まず、X軸回りに角度 α 分回転させる(1回目の回転)。この1回目の回転によって、単位方位ベクトル401はそのままである。また、単位方位ベクトル402は、1回目の回転によって、単位方位ベクトル412となる。

【0069】

つぎに、1回目の回転後における単位方位ベクトル401、412をY軸回りに角度 β 分回転させる(2回目の回転)。単位方位ベクトル401は、この2回目の回転によって、単位方位ベクトル421となる。また、単位方位ベクトル412は、2回目の回転によって、単位方位ベクトル422となる。最後に、2回目の回転後における単位方位ベクトル421、422を、Z軸回りに角度 θ 分回転させる(3回目の回転)。単位方位ベクトル421は、この3回目の回転によって、単位方位ベクトル431となる。また、単位方位ベクトル422は、3回目の回転によって、単位方位ベクトル432となる。また、1回目～3回目の回転により、単位方位ベクトル403は、単位方位ベクトル433となる。この3回目の回転後における単位方位ベクトル431、432、433は、それぞれ装置本体120の観測座標系を構成するx軸、y軸およびz軸上に位置することとなる。

【0070】

また、3回目の回転後における単位方位ベクトル431～433のそれぞれの座標を、3回回転座標系に用いた角度パラメータ α 、 β および θ によって、下記式(9)～式(11)であらわすことができる。

【0071】

【数6】

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} x_X \\ x_Y \\ x_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta \times \cos\theta \\ -\cos\beta \times \sin\theta \\ \sin\beta \end{bmatrix} \quad \dots (9)$$

$$\bar{y} = \begin{bmatrix} y_X \\ y_Y \\ y_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha \times \sin\theta + \sin\alpha \times \sin\beta \times \cos\theta \\ \cos\alpha \times \cos\theta - \sin\alpha \times \sin\beta \times \sin\theta \\ -\sin\alpha \times \cos\beta \end{bmatrix} \quad \dots (10)$$

$$\bar{z} = \begin{bmatrix} z_X \\ z_Y \\ z_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\alpha \times \sin\theta - \cos\alpha \times \sin\beta \times \cos\theta \\ \sin\alpha \times \cos\theta + \cos\alpha \times \sin\beta \times \sin\theta \\ \cos\alpha \times \cos\beta \end{bmatrix} \quad \dots (11)$$

【0072】

また、ピッチ角 β_g は、下記式(12)によってあらわすことができる。

【0073】

【数7】

$$\tan\beta_g = \frac{x_Z}{\sqrt{x_X^2 + x_Y^2}} \quad \dots (12)$$

【0074】

そして、上記式(12)の右辺に、式(9)の値を代入すると、下記式(13)の関係が導き出される。

$\beta_g = \beta \dots$ 式(13)

したがって、図4に示したピッチ角 β_g およびY軸回りの回転角 β は、同一角度となる。

。

【0075】

一方、ロール角 α_g は、下記式(14)によってあらわすことができる。

【0076】

【数 2 1】

$$\cos I = \frac{\bar{y}'_H \times \sin \beta + \bar{x}'_H \times \sin \alpha \times \cos \beta}{\cos \alpha \times \sin \beta \times \sin \theta + \sin \alpha \times \cos \theta} \quad \dots (32)$$

$$\cos I = \frac{\bar{z}'_H \times \sin \beta - \bar{x}'_H \times \cos \alpha \times \cos \beta}{\sin \alpha \times \sin \beta \times \sin \theta - \cos \alpha \times \cos \theta} \quad \dots (33)$$

【0 1 0 7】

この式 (3 1) ~ 式 (3 3) をまとめ、展開することにより、下記式 (3 4) を得ることができ、この逆関数をあらわす下記式 (3 5) により、方位角を算出することができる。

【0 1 0 8】

【数 2 2】

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{\bar{y}'_H \times \cos \alpha + \bar{z}'_H \times \sin \alpha}{\bar{y}'_H \times \sin \alpha \times \sin \beta - \bar{z}'_H \cos \alpha \times \sin \beta - \bar{x}'_H \times \cos \beta} \quad \dots (34)$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{\bar{y}'_H \times \cos \alpha + \bar{z}'_H \times \sin \alpha}{\bar{y}'_H \times \sin \alpha \times \sin \beta - \bar{z}'_H \cos \alpha \times \sin \beta - \bar{x}'_H \times \cos \beta} \right) \quad \dots (35)$$

【0 1 0 9】

伏角は、装置本体 1 2 0 の現在位置および経年変化によって変動する値である。また、伏角入力部 3 4 1 によって外部のサーバから入力することもできるが、当該サーバ内の伏角データの更新頻度が低い場合は、この式 (3 4) または式 (3 5) の演算式によれば、伏角 I が含まれていないため、伏角 I に依存しない高精度な方位角測定を実現することができる。

【0 1 1 0】

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順 (その 5) について説明する。図 9 は、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順 (その 5) を示すフローチャートである。図 9 において、まず、現在位置の偏角 D を入力する (ステップ S 9 0 1)。ここで、現在位置の偏角については、日本国内では、国土地理院が磁気測量を実施した結果を公開しており、その表に基づいて各地の偏角 D を知ることができる。また、偏角 D を求める方法として、2 次式で近似した偏角値算出法によっておこなうこともできる。具体的には、下記式 (3 6) ~ 式 (3 8) を用いて偏角 D を算出することができる。

【0 1 1 1】

【数 2 3】

$$D_{2000.0} = 7^\circ 37.142' + 21.622' \Delta \phi - 7.672' \Delta \lambda + 0.442' \Delta \phi^2 - 0.32' \Delta \phi \Delta \lambda + 0.675' \Delta \lambda^2 \quad \dots (36)$$

$$\Delta \phi = (\text{測定位置での緯度 } \phi) - 37 \quad \dots (37)$$

$$\Delta \lambda = (\text{測定位置での経度 } \lambda) - 138 \quad \dots (38)$$

【0 1 1 2】

つぎに、磁北を基準とした方位角 θ を算出する (ステップ S 9 0 2)。この磁北を基準とした方位角 θ の算出処理は、図 5 ~ 図 8 のフローチャートに示した処理手順と同一であるため省略する。そして、磁北を基準とした方位角 θ を、入力された偏角 D によって補正して、真北を基準とした方位角 θ' を算出する (ステップ S 9 0 3)。この処理手順によ

れば、真北を基準とした方位角 θ' を算出することができるため、さらに高精度な方位測定をおこなうことができる。

【0113】

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その6）について説明する。図10は、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その6）を示すフローチャートである。この処理手順は、いわゆる2軸の磁気センサによって方位角 θ を測定する処理手順である。ここでは、一例として、y軸を第1軸とし、z軸を第2軸とし、x軸を第3軸とする。そして、磁気センサは、第1軸および第2軸に設けられ、第3軸には設けられていないものとする。

【0114】

図10において、まず、第1軸および第2軸の磁気センサの出力から、第1軸方向および第2軸方向の地磁気量を検出する（ステップS1001）。そして、現在位置の合成地磁気量を入力する（ステップS1002）。日本国内各地の合成地磁気量 F は、下記式（39）～式（41）で近似することができる。

【0115】

【数24】

$$F_{2000.0} = 47505.3881 + 567.453\Delta\phi - 294.499\Delta\lambda - 0.225\Delta\phi^2 - 2.975\Delta\phi\Delta\lambda + 1.291\Delta\lambda^2 \quad \dots (39)$$

$$\Delta\phi = (\text{測定位置での緯度}\phi) - 37 \quad \dots (40)$$

$$\Delta\lambda = (\text{測定位置での経度}\lambda) - 138 \quad \dots (41)$$

【0116】

つぎに、第3軸方向の地磁気量を算出する（ステップS1003）。ここで、第3軸方向の地磁気量は、下記式（42）～式（44）によって算出することができる。

【数25】

$$\bar{x}'_H = \frac{\bar{x}_H}{|S'_h|} \quad \dots (42)$$

$$\bar{y}'_H = \frac{\bar{y}_H}{|S'_h|} \quad \dots (43)$$

$$\bar{z}'_H = \sqrt{1 - (\bar{x}'_H{}^2 + \bar{y}'_H{}^2)} \quad \dots (44)$$

\bar{x}'_H, \bar{y}'_H : x、y軸磁気センサの出力値を S'_h で規格化した値

\bar{x}_H, \bar{y}_H : x、y軸磁気センサの出力値

$|S'_h|$: 合成地磁気量 F に相当する磁気センサの出力値

【0117】

そして、算出された第3軸の地磁気量を出力する（ステップS1004）。このあとは、上述した図5～図9に示した測定処理手順と同一であるため省略する。この処理手順によれば、2軸の磁気センサによって3軸の磁気センサと同様に高精度な方位測定をおこなうことができる。また、部品点数を減少でき、小型化および軽量化を図ることができ、安価な方位測定装置100を提供することができる。

【0118】

（比較例）

つぎに、本実施の形態にかかる方位測定装置 100 と従来技術における方位測定装置との比較例について説明する。下記表 1 は、ロール角 $\alpha g = 20^\circ$ 、ピッチ角 $\beta g = 20^\circ$ のときの本実施の形態にかかる方位測定装置 100 の方位角と従来技術における方位測定装置の方位角を設定角度に対して比較した表である。また、本表に本実施の形態にかかる方位測定装置 100 におけるそれぞれの軸方向において規格化した地磁気出力値と、回転角から算出した方位角 θ の余弦値 $\cos \theta$ および正弦値 $\sin \theta$ も併せて示した。

【0119】

【表 1】

設定 角度 θ	x 軸磁気 センサ 出力	y 軸磁気 センサ 出力	z 軸磁気 センサ 出力	x 軸磁気 センサ 規格化出力 \bar{x}_H	y 軸磁気 センサ 規格化出力 \bar{y}_H	z 軸磁気 センサ 規格化出力 \bar{z}_H	方位正接	従来技術 方位角	本発明 方位角
0	221.2	41.1	-117.7	0.37	-0.33	-0.86	0.01	353.4	0.7
10	215.7	67.4	-128.6	0.35	-0.23	-0.90	0.17	2.5	9.5
20	206.6	100.7	-136.0	0.32	-0.11	-0.92	0.37	13.7	20.3
30	197.1	130.5	-145.6	0.29	-0.01	-0.96	0.58	24.0	30.3
40	178.3	154.7	-149.4	0.22	0.08	-0.97	0.83	33.6	39.8
50	156.7	181.1	-150.3	0.14	0.17	-0.97	1.20	44.2	50.1
60	133.3	198.7	-145.7	0.06	0.23	-0.96	1.66	53.5	58.9
70	106.7	214.0	-145.6	-0.03	0.29	-0.96	2.56	63.0	68.7
80	77.9	226.1	-136.3	-0.14	0.33	-0.92	4.89	73.1	78.4
90	46.8	235.0	-126.9	-0.25	0.36	-0.89	46.50	83.6	88.8
100	14.3	233.6	-116.9	-0.36	0.36	-0.85	-5.94	94.1	99.5
110	-11.6	229.9	-104.0	-0.45	0.34	-0.81	-2.98	103.1	108.5
120	-39.4	220.3	-90.9	-0.55	0.31	-0.76	-1.82	113.2	118.8
130	-64.4	207.8	-74.4	-0.64	0.27	-0.70	-1.24	123.2	128.8
140	-86.7	190.4	-56.4	-0.72	0.20	-0.64	-0.86	133.5	139.2
150	-104.0	167.1	-43.0	-0.78	0.12	-0.59	-0.59	143.3	149.4
160	-118.8	143.8	-29.1	-0.83	0.04	-0.54	-0.38	152.7	159.1
170	-127.6	112.8	-16.1	-0.86	-0.07	-0.50	-0.18	163.2	169.9
180	-125.7	85.2	-0.3	-0.86	-0.17	-0.44	0.00	172.8	179.8
190	-123.7	56.7	10.8	-0.85	-0.27	-0.40	0.17	182.2	189.6
200	-117.9	23.3	18.1	-0.83	-0.39	-0.38	0.37	192.8	200.4
210	-106.2	-5.9	26.1	-0.79	-0.49	-0.35	0.59	202.6	210.6
220	-85.7	-28.8	28.3	-0.72	-0.57	-0.34	0.85	211.9	220.2
230	-68.1	-53.5	27.3	-0.65	-0.66	-0.34	1.17	221.2	229.5
240	-43.0	-72.5	28.1	-0.56	-0.73	-0.34	1.71	230.9	239.7
250	-12.1	-88.5	21.6	-0.45	-0.79	-0.36	2.88	242.0	250.9
260	15.4	-100.5	15.8	-0.36	-0.83	-0.38	6.06	251.6	260.8
270	46.2	-110.5	8.5	-0.25	-0.86	-0.41	-55.14	261.9	271.0
280	73.8	-109.1	-3.8	-0.15	-0.86	-0.45	-5.46	271.3	280.4
290	105.5	-106.2	-19.4	-0.04	-0.85	-0.51	-2.57	282.4	291.3
300	132.0	-99.5	-33.3	0.06	-0.82	-0.56	-1.68	292.1	300.7
310	155.7	-81.8	-46.1	0.14	-0.76	-0.60	-1.15	302.2	311.0
320	179.9	-64.2	-63.6	0.23	-0.70	-0.67	-0.79	313.1	321.6
330	195.6	-44.4	-76.9	0.28	-0.63	-0.71	-0.57	322.2	330.4
340	208.1	-20.1	-90.6	0.33	-0.54	-0.76	-0.37	331.8	339.8
350	217.8	9.0	-107.7	0.36	-0.44	-0.82	-0.17	342.9	350.5
360	219.1	37.8	-117.5	0.37	-0.34	-0.86	0.00	352.4	359.8

【0120】

この表 1 において、x 軸磁気センサ規格化出力～z 軸磁気センサ規格化出力は、規格化された絶対値と各軸の地磁気ベクトルの方向とからなる。各出力値の正負は、各軸の地磁気ベクトルの方向をあらわしている。

【0121】

表 1 の結果から、従来技術においては設定した角度に対して若干小さな値を示しており、数値的には $-9 \sim -7^\circ$ 程度のずれを生じていることが判る。また、このずれ角度は、ロール角 αg とピッチ角 βg が大きくなる程、大きくなる傾向にある。それに対して、本発明により算出された方位角 θ は、設定した方位角 θ とほぼ同じ値となり、ほぼずれ角度を生じないということが判る。

【0122】

さらに、詳細に本実施の形態と従来技術との比較をおこなった。図 11 は、本実施の形態にかかる方位測定装置 100 と従来技術における方位測定装置を用いた場合の方位角度のずれを比較した説明図である。方位測定装置 100 の利用者は、様々な使用方法、持ち方をするのが想定されるため、ここではいくつか傾斜角を変えた場合に算出された方位角についての比較をおこなった。また、図中の横軸は設定した方位角であり、縦軸は従来

技術における方位測定装置 100 と本実施の形態にかかる方位測定装置による算出方位角と設定した方位角とのずれを示したものである。図中の白抜き三角、四角、丸、菱形は従来技術におけるロール角 α_g およびピッチ角 β_g を変えたときの設定角とのずれ角度を示しており、図中の黒丸は本発明における設定角とのずれ角度を示している。

【0123】

図 11 から判るように、従来技術では、傾斜角によって正のずれ、負のずれを生じることが分かる。また、傾斜角度が大きくなるほど、ずれ角度は大きくなり、例えば白抜き三角印 ($\alpha_g = 20^\circ$ 、 $\beta_g = 20^\circ$) と比較して白抜き四角印 ($\alpha_g = 20^\circ$ 、 $\beta_g = 40^\circ$) のときの方がずれ角度は大きくなっている。一方、本実施の形態では、 $\alpha_g = 40^\circ$ 、 $\beta_g = 20^\circ$ の時の結果を示しているが、設定角度とのずれ角度はほぼ零であり、傾斜角が大きくなっても、精度良く算出測定できることが判る。

【0124】

上記の実施例の説明の中で、規格化の方法として、合成地磁気量 F に相当する磁気センサ 110 ~ 112 の出力値 S_h によって規格化したのが、合成地磁気量 F を算出する方法として、地磁気の水平成分と伏角 I を検出することによって、合成地磁気量 F を測定することも可能である。これによれば、方位測定装置 100 を水平面 210 上で 1 回転させたときの出力の最大値が地磁気の水平成分に相当する出力となるため、その出力から合成地磁気量 F に相当する磁気センサ 110 ~ 112 の出力値 S_h を算出することもできる。

【0125】

上述した実施の形態では、傾斜センサ 115 ~ 117 として加速度センサを用いたが、水平面 210 と各軸とのなす角を測定できる傾斜センサであれば、加速度センサに限定されるものではない。

【0126】

また、上述した実施の形態では、日本国内における測定方法について述べたが、これに限定するものではなく、世界中のあらゆる地域においても緯度と経度の測定位置が分かれば、偏角、合成地磁気量または伏角を取得することができる。この緯度および経度を取得することによって、偏角 D 、合成地磁気量 F 、伏角 I の情報をデータベースとして予め作成することによって、世界中のあらゆる地域での偏角、合成地磁気量および伏角を取得することができる。

【0127】

また、算出式についても、上記実施例に限定するものではなく、利用者が偏角 D を直接入力して行う方法、位置情報を通信、電波或いは GPS などにより自動的に取得して測定式で算出する方法あるいはネットワーク上にある位置情報と偏角、合成地磁気量、伏角の対応テーブルを備えたサーバにアクセスすることにより、自動的に取得する方法等を利用することができる。

【0128】

さらに、上述した実施の形態では、IC モジュール的な説明を行ったが、それに限定されるものではなく、表示装置、電源を備えて単体で動作する方位測定装置 100 でもよい。また、各種電子機器へ組み込まれている構成としてもよい。さらに、図 1 に示したすべてのハードウェア構成がひとつにまとまっていることには限定されず、例えば、方位測定装置 100 が備えられている各種機器側の CPU やマイコンによって測定処理を行う構成としてもよい。

【0129】

また、上述した実施の形態では、偏角 D 、合成地磁気量 F および伏角 I は、現在位置の緯度と経度から偏角 D と合成地磁気量 F と伏角 I とのデータを取得できるため、これらデータの選択組み合わせはユーザの自由である。また選択しなかった場合でも、初期値を方位測定装置 100 内に記憶させておくことにより方位測定をおこなうことができる。

【0130】

さらに、上述した実施の形態では、3 軸の傾斜センサ 115 ~ 117 として 3 軸加速度センサを用いて、出力合計値 W_g を各軸の加速度センサの出力値の自乗の和の平方根で算

出したが、重力加速度 g がその出力合計値 W_g に相当するため、その値を用いてもよい。この場合、上記の出力合計値 W_g を算出するとその測定における加速度量が分かる。また、この加速度量を既知の重力加速度と比較することによって、重力以外の加速度因子が働いているかなどの情報も同時に分かり、それを利用した補正をおこなうこともできる。さらに、傾斜センサ 115～117 としては、3 軸でなく 2 軸でおこなうこととしてもよい。その場合は、上述した重力加速度に相当する出力合計値 W_g を入力することによって、各軸の傾斜角を算出することができる。

【0131】

この方位測定装置 100 のユーザは、様々な使用方法、持ち方をすることが想定され、方位測定装置 100 すなわち磁気センサ 110～112 が水平面 210 に対して傾斜した状態で使用することも十分に考えられる。そのような場合においても、この実施の形態によれば、装置本体 120 が傾斜した状態でも高精度に方位角 θ を算出することができる。特に、携帯電話、PDA といった携帯情報端末や腕時計などに有効的である。また、方位測定装置 100 で用いるアルゴリズムも簡素な形であり、各種機器に組み込みやすいという効果を奏する。

【0132】

以上説明したように、方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムによれば、X 軸、Y 軸、Z 軸の順に回転をおこなう 3 回回転座標式に基づく簡単な演算式を用いることにより、簡易かつ高精度な方位測定をおこなうことができるという効果を奏する。

【0133】

なお、本実施の形態で説明した方位測定方法は、予め用意されたプログラムをパーソナル・コンピュータやワークステーション等のコンピュータで実行することにより実現することができる。このプログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク、CD-ROM、MO、DVD 等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録され、コンピュータによって記録媒体から読み出されることによって実行される。またこのプログラムは、インターネット等のネットワークを介して配布することが可能な伝送媒体であってもよい。

【産業上の利用可能性】

【0134】

以上のように、本発明にかかる方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムは、携帯電話、PDA または腕時計といった携帯情報端末、車両用方位計であるカーナビゲーション装置、航空機の姿勢検出装置、視覚障害者向けの電子方位計、ゲーム機に有用である。

【図面の簡単な説明】

【0135】

【図 1】この発明の実施の形態にかかる方位測定装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

【図 2】図 1 に示した方位測定装置 100 が配置されている絶対座標系を示す説明図である。

【図 3】この発明の実施の形態にかかる方位測定装置 100 の機能的構成を示すブロック図である。

【図 4】この発明の実施の形態にかかる方位測定装置 100 の X 軸回転角 α の算出原理を示す説明図である。

【図 5】この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その 1）を示すフローチャートである。

【図 6】この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その 2）を示すフローチャートである。

【図 7】この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その 3）を示すフローチャートである。

【図 8】この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その 4）を示すフローチャートである。

【図 9】この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その 5）を示すフローチャートである。

【図 1 0】この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その 6）を示すフローチャートである。

【図 1 1】本実施の形態にかかる方位測定装置 1 0 0 と従来技術における方位測定装置を用いた場合の方位角度のずれを比較した説明図である。

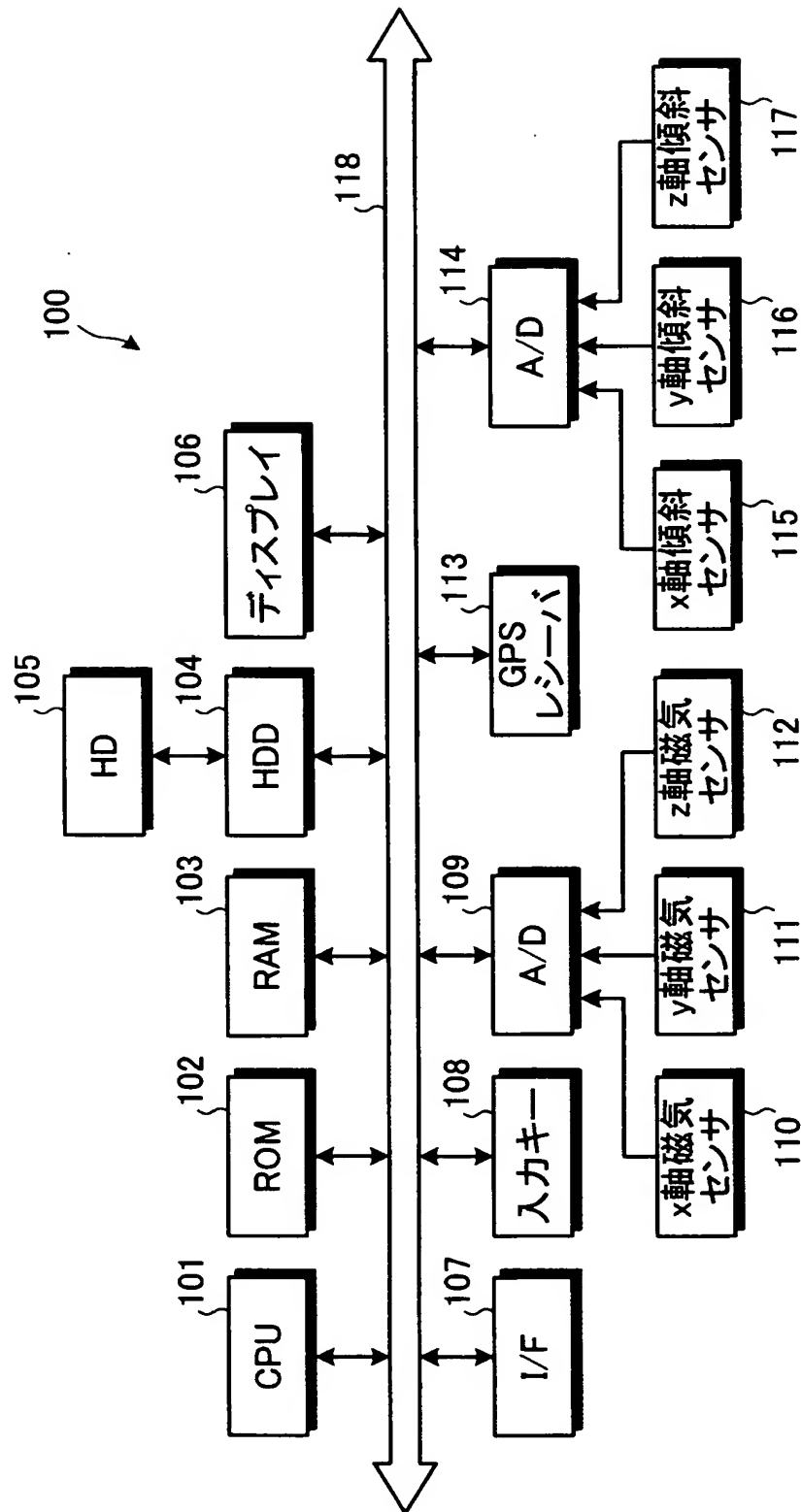
【図 1 2】従来技術の処理手順を示すフローチャートである。

【符号の説明】

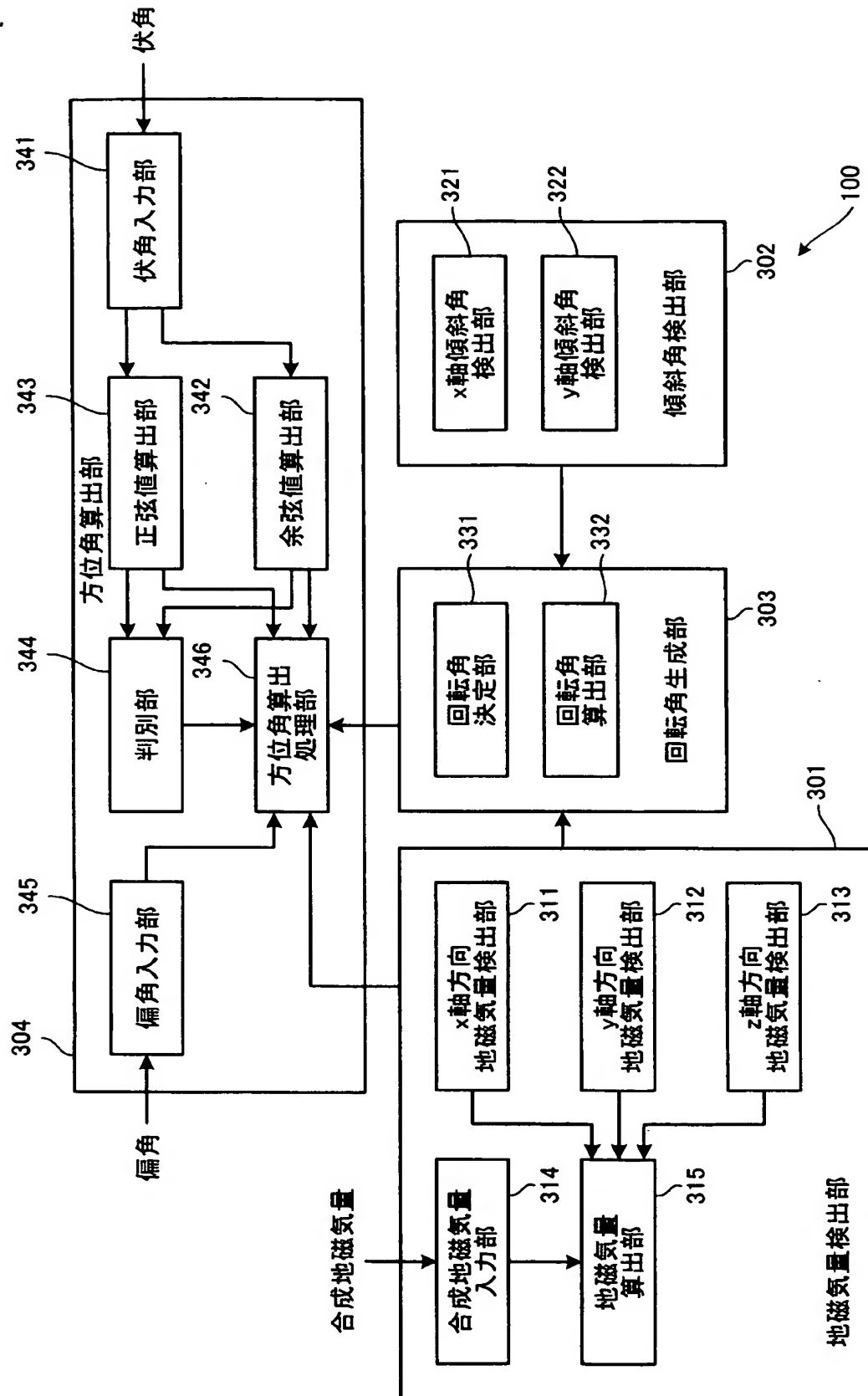
【 0 1 3 6 】

- 1 0 0 方位測定装置
- 1 2 0 装置本体
- 3 0 1 地磁気量検出部
- 3 0 2 傾斜角検出部
- 3 0 3 回転角生成部
- 3 0 4 方位角算出部
- θ 方位角
- α X 軸回転角
- β Y 軸回転角
- αg ロール角（y 軸傾斜角）
- βg ピッチ角（x 軸傾斜角）
- I 伏角
- D 偏角

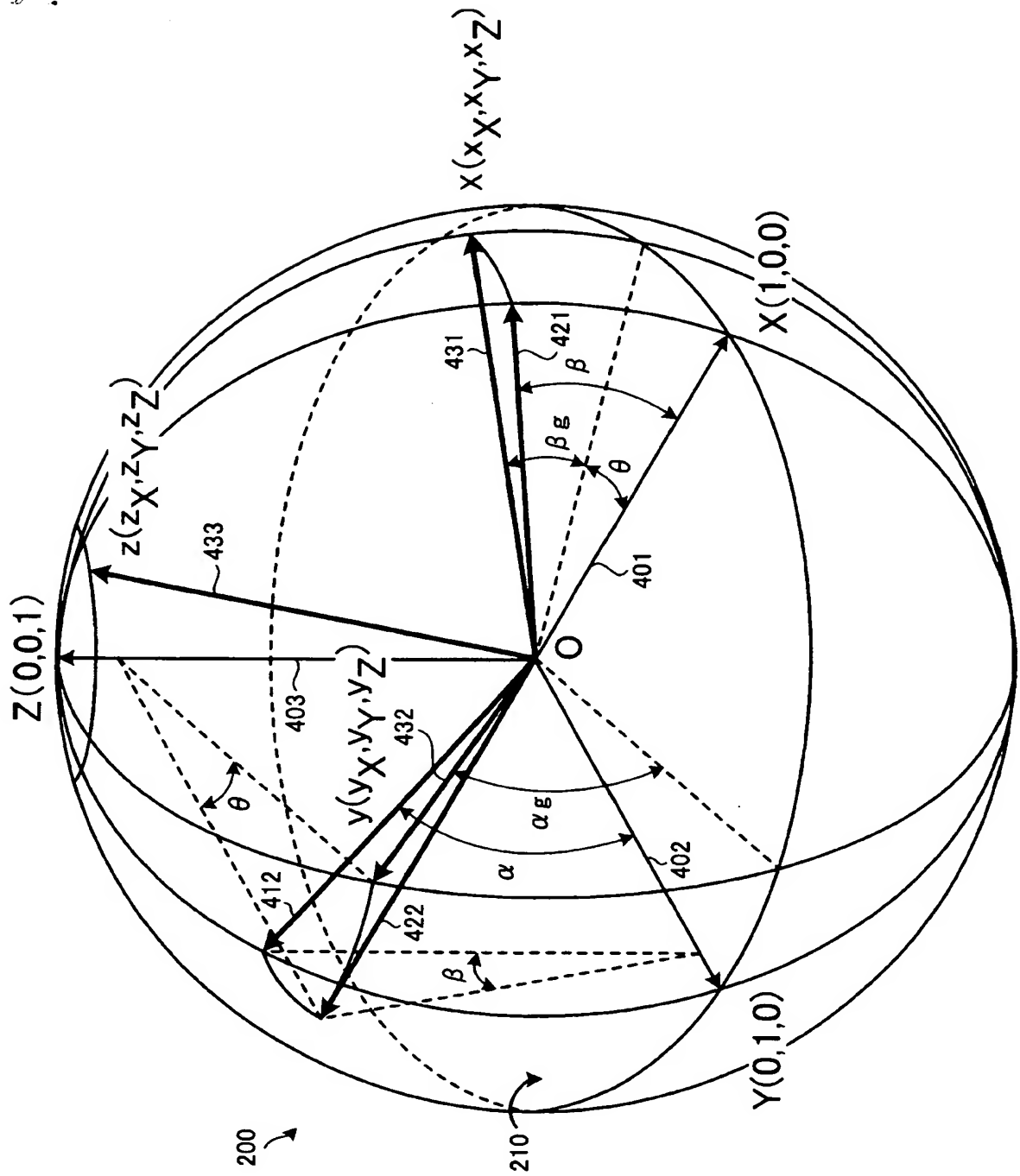
【書類名】 図面
【図 1】



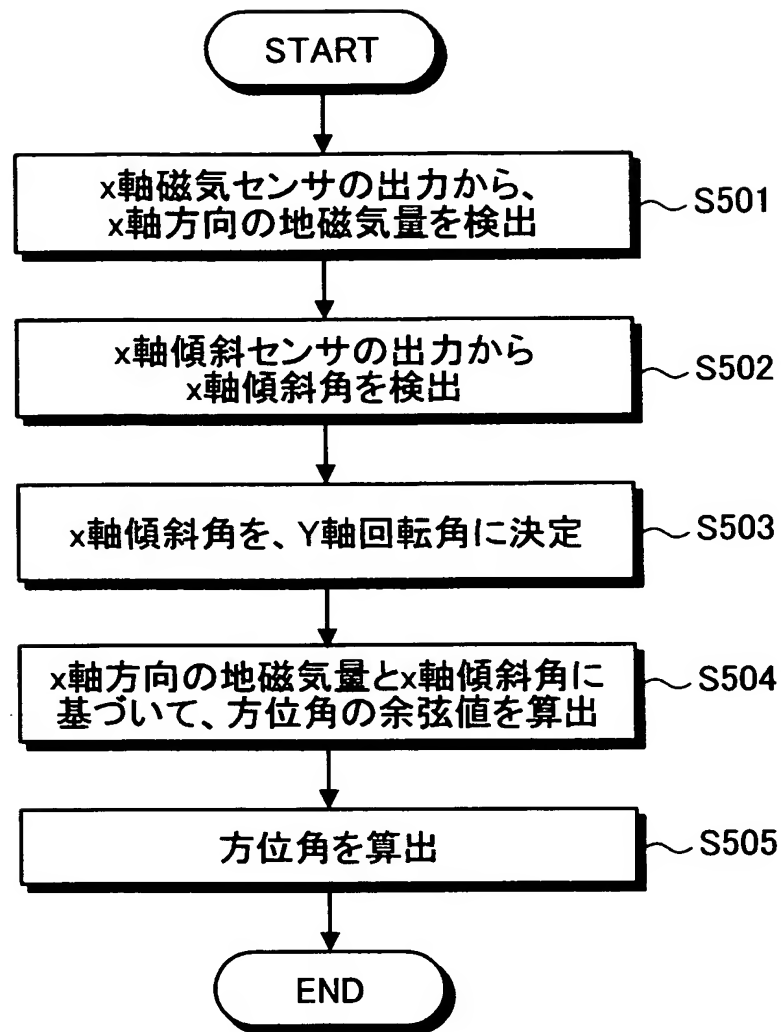
【図 3】



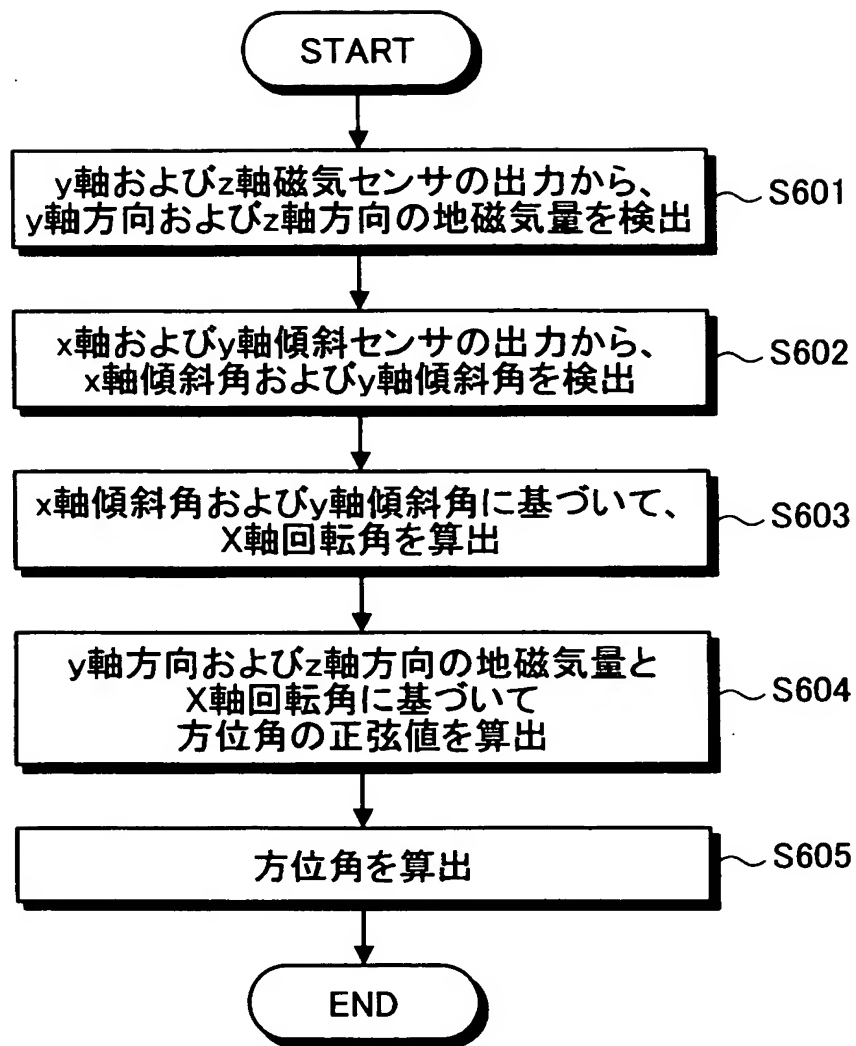
【図 4】



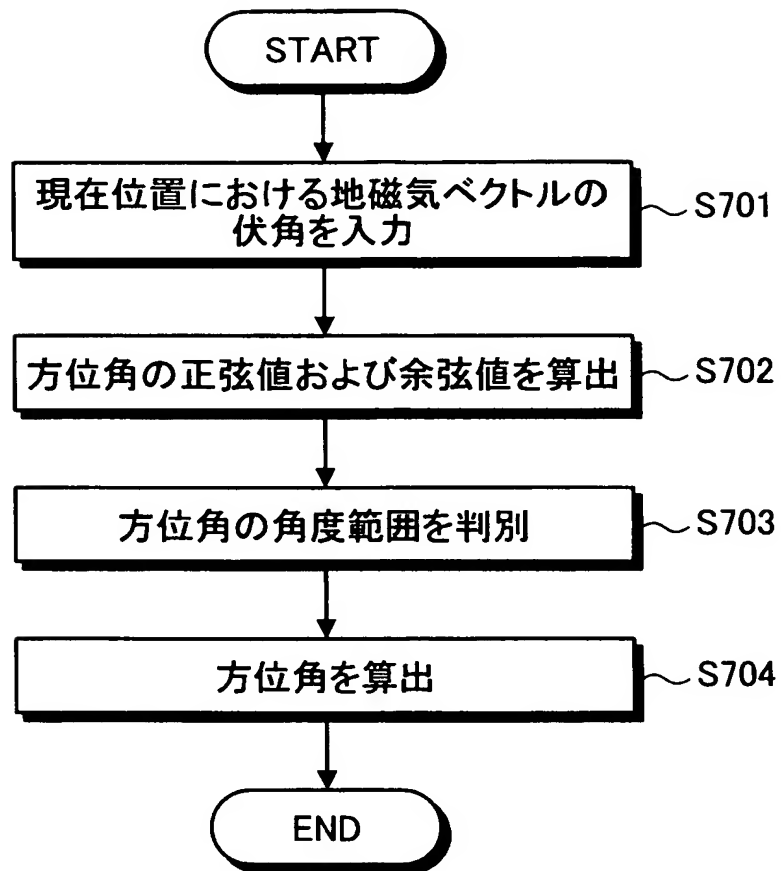
【図5】



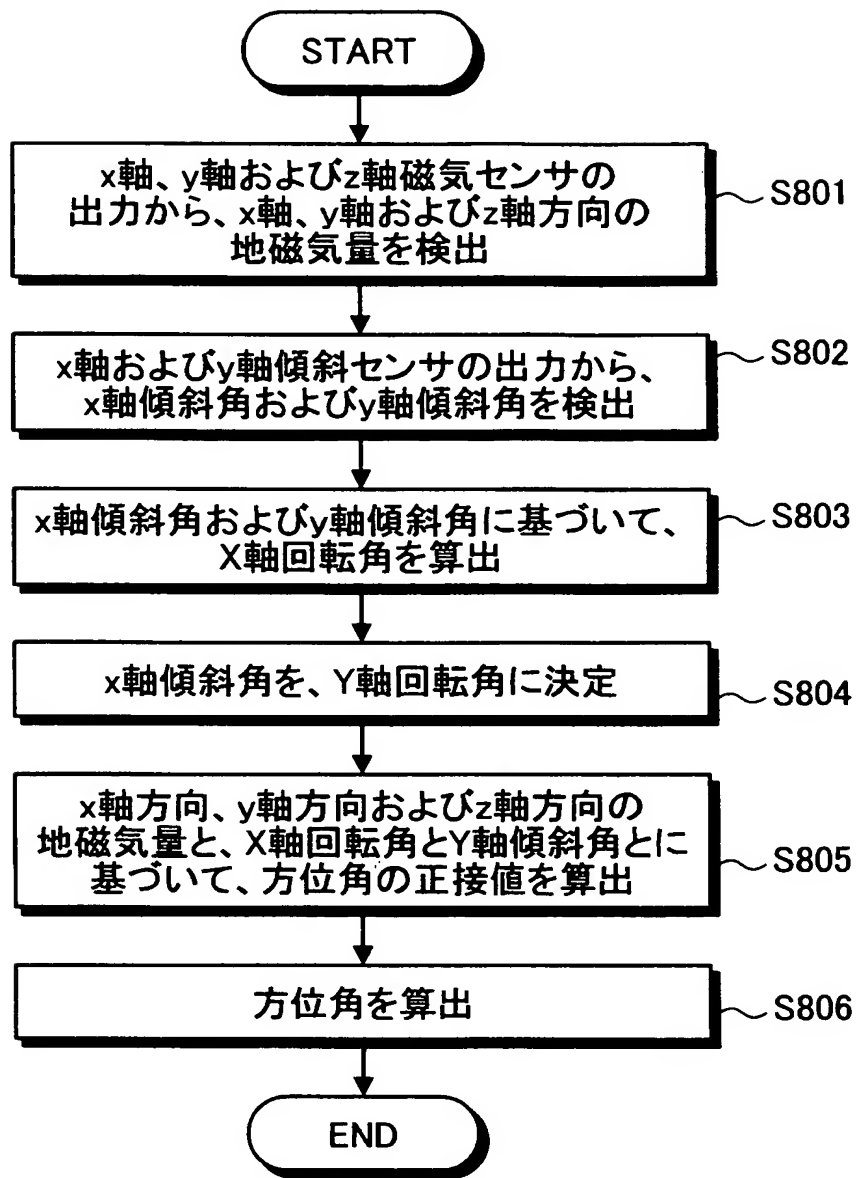
【図 6】



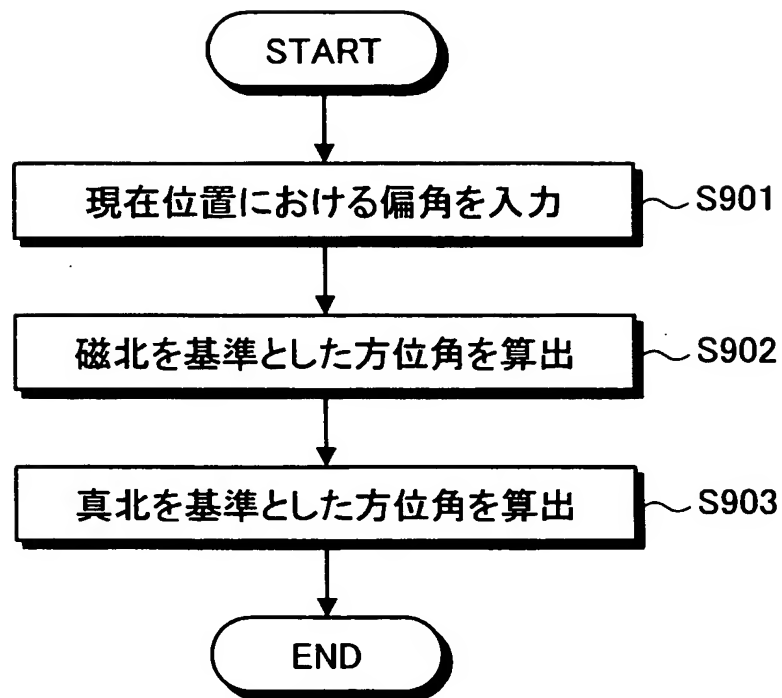
【図 7】



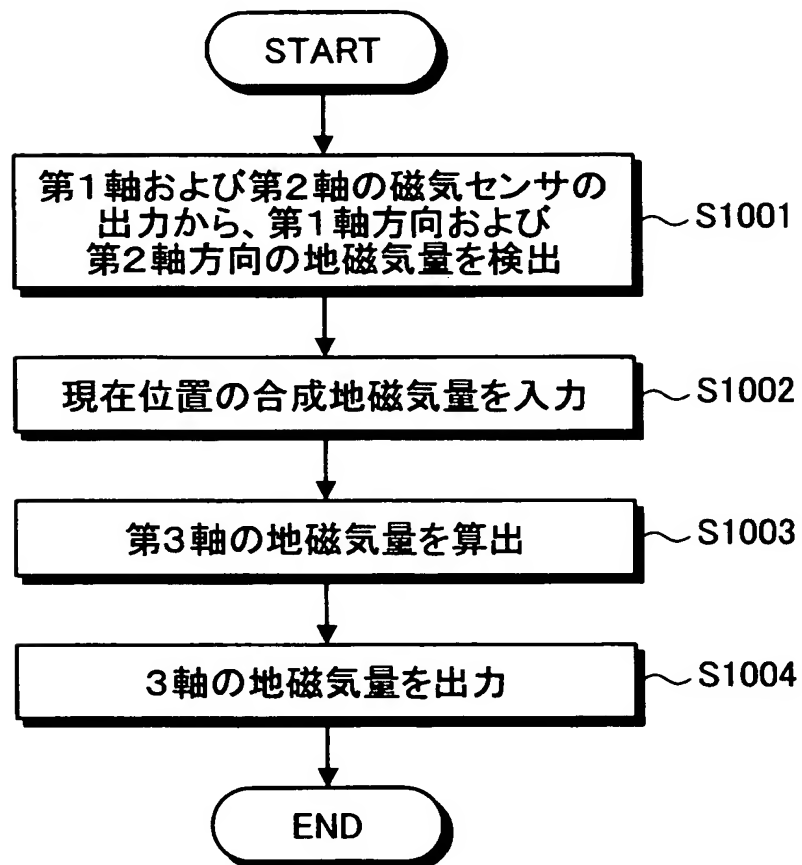
【図 8】



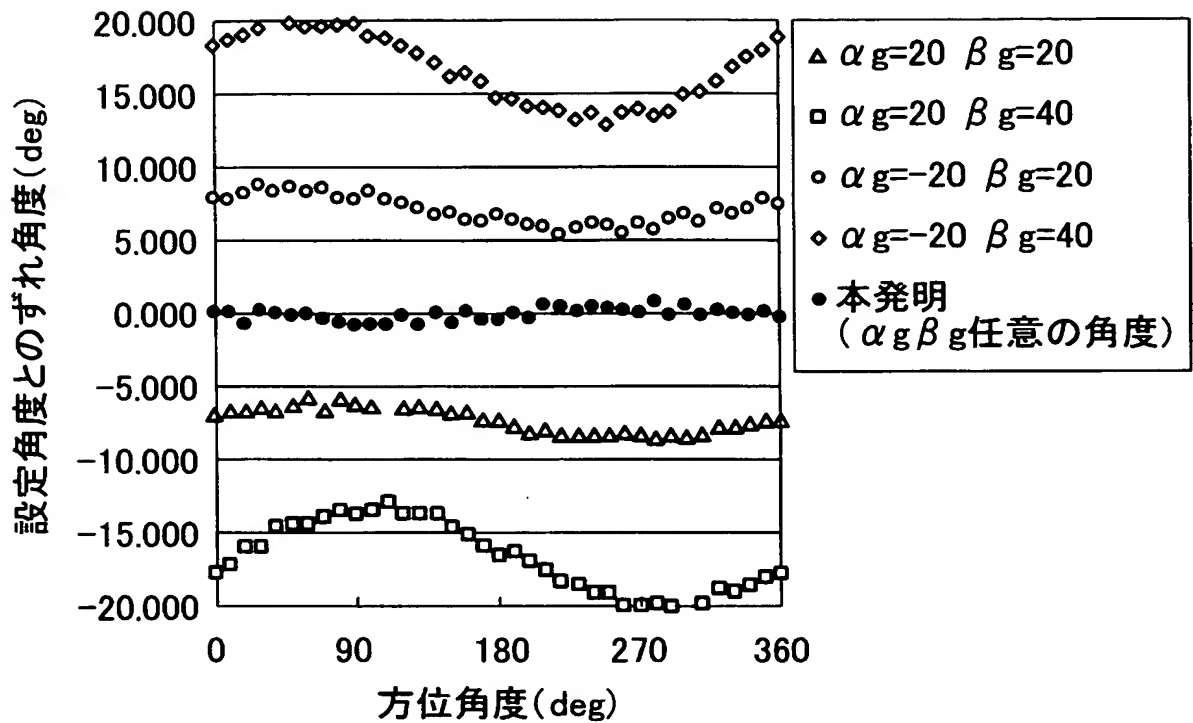
【図 9】



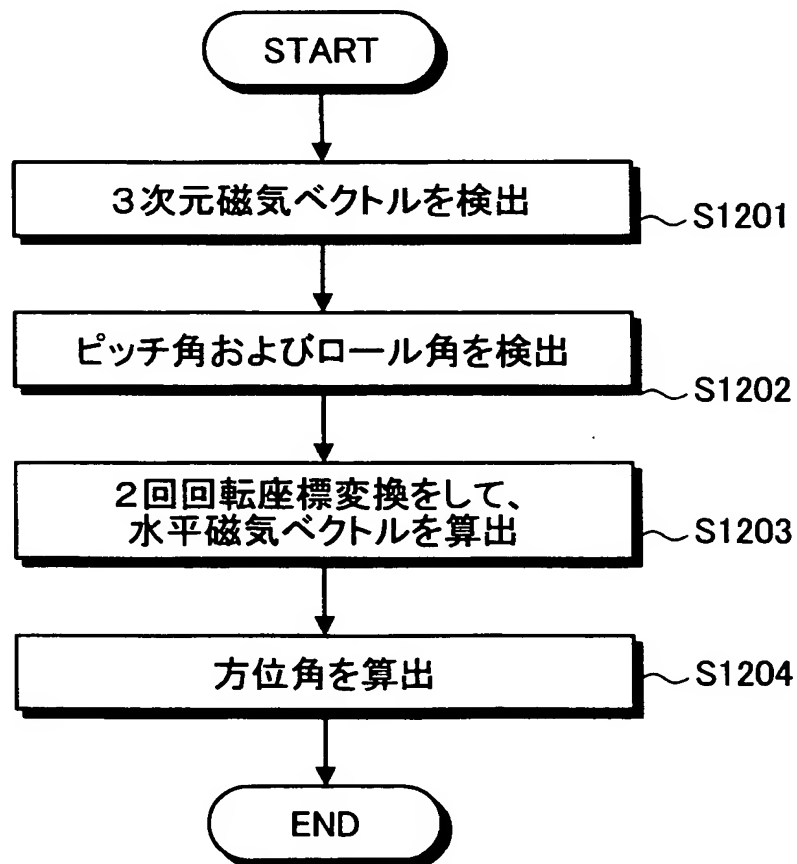
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】簡易かつ高精度な方位測定をおこなうこと。

【解決手段】方位測定装置 100 は、水平面 210 上の磁北を示す X 軸、水平面 210 において X 軸に直交する Y 軸、および水平面 210 に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体 120 の方位を測定する。方位測定装置 100 は、装置本体 120 が指し示す方向となる x 軸方向の地磁気量を検出する x 軸方向地磁気量検出部 311 と、水平面 210 と x 軸とのなす x 軸傾斜角 βg を検出する x 軸傾斜角検出部 321 と、x 軸傾斜角検出部 321 によって検出された x 軸傾斜角 βg を、x 軸を Y 軸回りの回転によって水平面 210 に回転移動させた場合の回転角 β に決定する回転角決定部 331 と、x 軸方向地磁気量検出部 311 によって検出された地磁気量と、回転角決定部 331 によって決定された回転角 β とに基づいて、装置本体 120 の方位角 θ を算出する方位角算出部 304 と、を備える。

【選択図】

図 3



特願 2 0 0 4 - 0 4 0 5 0 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 9 6 0]

1. 変更年月日

2 0 0 1 年 3 月 1 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号

氏 名

シチズン時計株式会社

【数 8】

$$\tan \alpha_g = \frac{y_z}{\sqrt{y_x^2 + y_y^2}} \quad \dots (14)$$

【0077】

そして、上記式(14)の右辺に、式(10)の値を代入すると、下記式(15)の関係が導き出される。

【0078】

【数 9】

$$\alpha = -\sin^{-1} \frac{\tan \alpha_g}{\sqrt{\cos^2 \beta_g \times (1 + \tan^2 \alpha_g)}} \quad \dots (15)$$

【0079】

上記式(13)および式(15)より、Y軸回転角 β はx軸傾斜センサ115から計算される角度、すなわちx軸と水平面210のなすピッチ角 β_g と等しくなるが、X軸回転角 α はy軸と水平面210のなすロール角 α_g と等しくはならない(図4を参照)。また、式(15)において、右辺に負の符号がついているのは、 α_g と α の関係に依存するものであり、本例においては α と α_g は符号が逆になるため符号がついている。このように、図3に示した回転角算出部303では、式(13)および式(15)に従って、X軸回転角 α およびY軸回転角 β を、y軸傾斜角 α_g およびx軸傾斜角 β_g から変換して算出することができる。

【0080】

(方位角算出原理)

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置100の方位角 θ の算出原理について、図2および図4を用いて説明する。まず、x軸磁気センサ110、y軸磁気センサ111およびz軸磁気センサ112からの各地磁気ベクトルと地磁気ベクトルの方向との関係に着眼する。なお、地磁気以外に磁気影響がないと仮定する。図2において、x軸がXZ平面にある場合、x軸磁気センサ110の出力は最大値 S_h となる。ここで、x軸磁気センサ110の出力を x_H 、地磁気ベクトルとx軸のなす角を γ_x とすると、 x_H は地磁気方向の出力値 S_h と γ_x の余弦角 $\cos \gamma_x$ との積に比例した下記式(16)によってあらわすことができる。なお、ここで、 γ_x が $-90^\circ \sim 90^\circ$ の範囲であれば、 x_H の値は正となり、 γ_x が $90^\circ \sim 270^\circ$ の範囲であれば、 x_H の値は負となる。すなわち、この γ_x は、地磁気ベクトルの方向に対して正負の極性を示すこととなる。

【0081】

【数 10】

$$\vec{x} \cdot \vec{S}_h = |\vec{x}| \times |\vec{S}_h| \times \cos \gamma_x = |\vec{x}| \times \vec{x}_H = \vec{x}_H \quad \dots (16)$$

 \vec{x} : x軸方向の単位方位ベクトル \vec{x}_H : x軸磁気センサ出力値

【0082】

ここで、3回回転座標式により回転させられたx軸方向の単位方位ベクトル421と、地磁気ベクトルの内積を考えると、当該内積は、式(16)のように導かれて、x軸磁気センサ110の出力に等しくなるということが分かる。また、y軸およびz軸についても同様の関係式(式(17)、式(18))を見い出すことができる。

【数 1 1】

$$\bar{y} \cdot \bar{S}_h = \bar{y}_H \quad \dots (17)$$

$$\bar{z} \cdot \bar{S}_h = \bar{z}_H \quad \dots (18)$$

\bar{y} : y軸方向の単位方位ベクトル

\bar{z} : z軸方向の単位方位ベクトル

\bar{y}_H : y軸磁気センサ出力値

\bar{z}_H : z軸磁気センサ出力値

【0083】

また、地磁気ベクトル 204 の成分を下記式 (20) に示す。

【数 1 2】

$$\bar{S}_h = \begin{bmatrix} |S_h| \cdot \cos I \\ 0 \\ |S_h| \cdot \sin I \end{bmatrix} \quad \dots (20)$$

【0084】

ここで、地磁気ベクトル 204 と水平面 210 との傾きである伏角を I とし、水平面 210 より上側を正の角度とした。したがって、日本においては、水平面 210 より下側に向いているために負の角度を示すこととなる。

【0085】

また、式 (16) の左辺に、式 (9) および式 (20) を代入すると、下記式 (21) となる。

【数 1 3】

$$\bar{x} \cdot \bar{S}_h = \begin{bmatrix} x_x \\ x_y \\ x_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} |S_h| \cdot \cos I \\ 0 \\ |S_h| \cdot \sin I \end{bmatrix} = |S_h| \times (\cos I \times \cos \beta \times \cos \theta + \sin I \times \sin \beta) = \bar{x}_H \quad \dots (21)$$

【0086】

また、式 (17) の左辺に、式 (10) および式 (20) を代入すると、下記式 (22) となる。

【数 1 4】

$$\bar{y} \cdot \bar{S}_h = \begin{bmatrix} y_x \\ y_y \\ y_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} |S_h| \cdot \cos I \\ 0 \\ |S_h| \cdot \sin I \end{bmatrix} = |S_h| \times \begin{bmatrix} \cos I \times (\cos \alpha \times \sin \theta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta) \\ -\sin I \times \cos \beta \times \sin \alpha \end{bmatrix} = \bar{y}_H \quad \dots (22)$$

【0087】

また、式 (18) の左辺に、式 (11) および式 (20) を代入すると、下記式 (23)

) となる。

【数 15】

$$\bar{z} \cdot \bar{S}_h = \begin{bmatrix} z_x \\ z_y \\ z_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} |S_h| \cdot \cos I \\ 0 \\ |S_h| \cdot \sin I \end{bmatrix} = |S_h| \times \begin{bmatrix} \cos I \times (\sin \alpha \times \sin \theta + \cos \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta) \\ + \sin I \times \cos \alpha \times \cos \beta \end{bmatrix} = \bar{z}_H \quad \dots (23)$$

【0088】

上記式(21)～式(23)をまとめ、x軸磁気センサ110、y軸磁気センサ111およびz軸磁気センサ112の出力値は合成地磁気量 S_h によって規格化されていることから、式(3)～式(5)を代入すると、下記式(24)に示す地磁気と方位角との関係式を得ることができる。

【数 16】

$$\begin{bmatrix} \bar{x}'_H \\ \bar{y}'_H \\ \bar{z}'_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos I \times \cos \beta \times \cos \theta + \sin I \times \sin \beta \\ \cos I \times \cos \alpha \times \sin \theta + \cos I \times \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta - \sin I \times \cos \beta \times \sin \alpha \\ \cos I \times \sin \alpha \times \sin \theta - \cos I \times \cos \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta + \sin I \times \cos \alpha \times \cos \beta \end{bmatrix} \quad \dots (24)$$

【0089】

この式(24)の連立方程式を解くことにより、方位角 θ の余弦値 $\cos \theta$ 、方位角 θ の正弦値 $\sin \theta$ について求めると、下記式(25)および式(26)を得ることができる。

【数 17】

$$\sin \theta = \frac{\bar{y}'_H \times \cos \alpha + \bar{z}'_H \times \sin \alpha}{\cos I} \quad \dots (25)$$

$$\cos \theta = \frac{\bar{x}'_H - \sin I \times \sin \beta}{\cos I \times \cos \beta} \quad \dots (26)$$

【0090】

なお、実際の方位角 θ の算出は、上記式(25)または式(26)の逆関数を計算して方位角 θ を求める。伏角 I は、測定位置が変わらなければ変動はないため、初期値としてその測定位置に対応する値を入力することとしてもよい。

【0091】

(方位算出処理手順)

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順(その1)について説明する。図5は、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順(その1)を示すフローチャートである。なお、現在位置における伏角 I は、下記式(27)～式(29)によって与えられているものとする。

【0092】

【数 18】

$$I_{200.0} = 51^{\circ}03'.804 + 73'.745\Delta\phi - 9'.472\Delta\lambda - 0'.771\Delta\phi^2 - 0'.459\Delta\phi\Delta\lambda + 0'.359\Delta\lambda^2 \quad \dots (27)$$

$$\Delta\phi = (\text{測定位置での緯度}\phi) - 37 \quad \dots (28)$$

$$\Delta\lambda = (\text{測定位置での経度}\lambda) - 138 \quad \dots (29)$$

【0093】

図5において、まず、x軸磁気センサ110の出力から、x軸方向の地磁気量を検出する(ステップS501)。つぎに、x軸傾斜センサ115の出力からx軸傾斜角(ピッチ角 βg)を検出する(ステップS502)。そして、上記式(13)を用いて、x軸傾斜角(ピッチ角 βg)を、x軸をY軸回りの回転によって水平面210に回転移動させた場合の回転角であるY軸回転角 β に決定する(ステップS503)。つぎに、上記式(26)を用いて、x軸方向の地磁気量と決定されたY軸回転角 β とに基づいて、方位角 θ の余弦値 $\cos\theta$ を算出する(ステップS504)。この余弦値 $\cos\theta$ の逆関数から方位角 θ を算出する(ステップS505)。この処理手順によれば、x軸方向の地磁気量とx軸傾斜角 βg を検出するだけで、簡単な演算式により、装置本体120の方位角 θ を算出することができる。

【0094】

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順(その2)について説明する。図6は、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順(その2)を示すフローチャートである。なお、現在位置における伏角Iは上記式(27)～式(29)により与えられているものとする。

【0095】

図6において、まず、y軸磁気センサ111およびz軸磁気センサ112の出力から、y軸方向およびz軸方向の地磁気量を検出する(ステップS601)。つぎに、x軸傾斜センサ115およびy軸傾斜センサ116の出力からx軸傾斜角(ピッチ角 βg)およびy軸傾斜角(ロール角 αg)を検出する(ステップS602)。そして、上記式(25)を用いて、ピッチ角 βg およびロール角 αg に基づいて、X軸回転角 α を算出する(ステップS603)。つぎに、y軸方向およびz軸方向の地磁気量とX軸回転角 α とに基づいて、方位角 θ の正弦値 $\sin\theta$ を算出する(ステップS604)。この正弦値 $\sin\theta$ の逆関数から方位角 θ を算出する(ステップS605)。この処理手順によれば、y軸方向およびz軸方向の地磁気量とy軸傾斜角(ロール角 αg)を検出するだけで、簡単な演算式により、装置本体120の方位角 θ を算出することができる。

【0096】

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順(その3)について説明する。図7は、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順(その3)を示すフローチャートである。図7において、まず、外部のサーバから現在位置における伏角Iを入力する(ステップS701)。つぎに、方位角 θ の正弦値 $\sin\theta$ および余弦値 $\cos\theta$ を算出する(ステップS702)。

【0097】

この正弦値 $\sin\theta$ および余弦値 $\cos\theta$ の算出は、図5および図6に示したフローチャートと同一であるため説明を省略する。そして、算出された正弦値 $\sin\theta$ および余弦値 $\cos\theta$ から、方位角 θ の角度範囲を判別する(ステップS703)。このあと、判別された角度範囲と、算出された正弦値 $\sin\theta$ または余弦値 $\cos\theta$ の逆関数から、方位角 θ を算出する(ステップS704)。この処理手順によれば、現在位置の方位角 θ を測定する都度、現在位置における伏角Iを取得することができるため、正確な方位測定をおこなうことができる。

【0098】

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その4）について説明する。図8は、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その4）を示すフローチャートである。なお、現在位置における伏角Iは与えられているものとする。図8において、まず、x軸磁気センサ110、y軸磁気センサ111およびz軸磁気センサ112の出力から、x軸方向、y軸方向およびz軸方向の地磁気量を検出する（ステップS801）。

【0099】

つぎに、x軸傾斜センサ115およびy軸傾斜センサ116の出力からx軸傾斜角（ピッチ角 βg ）およびy軸傾斜角（ロール角 αg ）を検出する（ステップS802）。そして、上記式（15）を用いて、x軸傾斜角（ピッチ角 βg ）およびy軸傾斜角（ロール角 αg ）に基づいて、X軸回転角 α を算出する（ステップS803）。また、上記式（13）を用いて、x軸傾斜角（ピッチ角 βg ）を、x軸をY軸回りの回転によって水平面210に回転移動させた場合の回転角であるY軸回転角 β に決定する（ステップS804）。つぎに、x軸方向、y軸方向およびz軸方向の地磁気量とX軸回転角 α とY軸回転角 β とに基づいて、方位角 θ の正接値 $\tan \theta$ を算出する（ステップS805）。この正接値 $\tan \theta$ の逆関数から方位角 θ を算出する（ステップS806）。

【0100】

ここで、方位角 θ の正接値 $\tan \theta$ について説明する。下記式（30）は、上記式（25）および式（26）から得られた方位角 θ の正接値 $\tan \theta$ の式である。

【0101】

【数19】

$$\tan \theta = \frac{(\bar{y}'_H * \cos \alpha + \bar{z}'_H * \sin \alpha) \times \cos \beta}{\bar{x}'_H - \sin I \times \sin \beta} \quad \dots (30)$$

【0102】

この処理手順によれば、x軸方向、y軸方向およびz軸方向の地磁気量とx軸傾斜角 βg とy軸傾斜角 αg を検出するだけで、簡単な演算式により、装置本体120の方位角 θ を算出することができる。

【0103】

また、方位角 θ の正接値 $\tan \theta$ は、以下の方法により、伏角を用いない式によってあらわすることができる。具体的には、上記式（24）によってあらわされているx軸磁気センサ110の出力成分を伏角Iの正弦値について解くと、下記式（31）となる。

【0104】

【数20】

$$\sin I = \frac{\bar{x}'_H - \cos \beta \times \cos \theta \times \cos I}{\sin \beta} \quad \dots (31)$$

【0105】

また、この式（31）を用いて、上記式（24）によってあらわされているy軸磁気センサ111の出力成分を伏角Iの余弦値 $\cos I$ について解くと、下記式（32）となり、z軸磁気センサ112の出力成分を伏角Iの余弦値 $\cos I$ について解くと、下記式（33）となる。

【0106】